

ISSN 2079-3928

Природо- пользование



1
2020

Государственное научное учреждение
«Институт природопользования
Национальной академии наук Беларусь»

Природопользование

2020. № 1

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

Главный редактор

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

Редакционная коллегия

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

Международный редакционный совет

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

Адрес

Ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск.
Тел. (017) 215-26-32, факс (017) 215-24-13.
E-mail: info@nature-nas.by

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

Nature Management

2020. № 1

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

Editor-in-Chief

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

Editorial Board

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

International Editorial Council

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

Address

10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Republic of Belarus.
Phone: (017) 215-26-32, fax: (017) 215-24-13.
E-mail: info@nature-nas.by

СОДЕРЖАНИЕ CONTENTS

ГЕОГРАФИЯ. ГЕОЭКОЛОГИЯ GEOGRAPHY. GEOECOLOGY

Логинов В. Ф., Бровка Ю. А., Микуцкий В. С. <i>Loginov V. F., Brovka Yu. A., Mikutsky V. S.</i>	Природа квазишестидесятилетнего колебания в климатической системе <i>The nature of a quasi-sixty-year fluctuation in the climate system</i>	5
Лысенко С. А., Логинов В. Ф., Бондаренко Ю. А. <i>Lysenko S. A., Loginov V. F., Bondarenko Yu. A.</i>	Взаимосвязь современных изменений испарения и количества осадков в южных регионах Беларуси <i>Relationship of modern changes in evaporation and number of precipitation in the southern regions of Belarus</i>	20
Коляда В. В. <i>Kalyada V. V.</i>	Оценка гибели посевных площадей и потерь урожая сельскохозяйственных культур в период вегетации в Беларусь <i>Assessment of the death of sown areas and yield losses of crops during the growing season in Belarus</i>	30
Кадацкая О. В., Санец Е. В., Овчарова Е. П. <i>Kadatskaya O. V., Sanets E. V., Aucharova A. P.</i>	Системообразующая роль гидрографической сети в организации природного каркаса города <i>System-forming role of hydrographic network in the organization of the natural framework of the city</i>	39
Санец Е. В., Бокая Г. М. <i>Sanets E. V., Bokaya H. M.</i>	Состояние снежного покрова на территории водно-зеленого диаметра г. Минска как индикатор атмогенетических нагрузок <i>The state of snow cover on the territory of water-green diameter of Minsk as an indicator of atmogenetic loads</i>	48
Струк М. И. <i>Struk M. I.</i>	Ландшафтные предпосылки эколого-хозяйственного зонирования региона (на примере Гомельской области) <i>Landscape backgrounds of ecological and economical region zoning (on the example of Gomel region)</i>	63
Кравчук Л. А., Яновский А. А., Баженова Н. М., Санец Е. В. <i>Kravchuk L. A., Yanovskiy A. A., Bazhenova N. M., Sanets E. V.</i>	Оценка средоформирующих функций природно-экологического каркаса городской территории (на примере г. Минска) <i>Evaluation of environment-forming function of natural-ecological framework of a city (on the example of Minsk)</i>	76
Басалай Е. Н., Хомич В. С., Дашкевич М. М. <i>Basalai E. N., Khomich V. S., Dashkevich M. M.</i>	Эколо-геохимическая оценка почв в зоне влияния очистных сооружений среднего города (на примере г. Кобрин, Беларусь) <i>Ecological and geochemical assessment of soils in the zone of influence of waste- water treatment plants of the middle city (on the example of Kobrin city, Belarus)</i>	86
Сплодитель А. О. <i>Sploditel A. O.</i>	Распределение и ассоциации тяжелых металлов в почвах среднего города (на примере г. Бровары, Украина) <i>Distribution and heavy metals associations in the soils of the medium-sized city (on the example of Brovary city, Ukraine)</i>	98
Лис Л. С. <i>Lis L. S.</i>	Изменение характеристик торфяных месторождений Республики Беларусь в зависимости от географической широты <i>Changes in the characteristics of peat deposits in the Republic of Belarus in dependence on geographical latitude</i>	108

ГЕОЛОГИЯ. ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ GEOLOGY. MINERALS

Матвеев А. В. <i>Matveyev A. V.</i>	Рельеф земной поверхности восточной части Белорусского Полесья в Муравинское межледниково <i>Earth's surface relief in the eastern part of the Belarusian Polesie area during the Muravian Interglacial</i>	115
--	---	-----

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

Лиштван И. И., Бровка Г. П., Дударчик В. М., Крайко В. М., Янута Ю. Г. <i>Lishtvan I. I., Brovka G. P., Dydarchik V. M., Kraiko V. M., Yanuta Yu. G.</i>	Физико-химические и теплофизические основы рационального использования и глубокой переработки природных дисперсных материалов	122
Мурашко А. А., Бровка А. Г., Дедюля И. В., Агутин К. А. <i>Murashko A. A., Brovka A. G., Dedyulya I. V., Agutin K. A.</i>	Автоматизация установки двухплоскостного среза и методики испытания грунтов на сдвиг при отрицательной температуре	132
Кунцевич В. Б., Томсон А. Э., Макаренко Т. И., Булгакова Н. А., Царюк Т. Я. <i>Kuntsevich V. B., Tomson A. E., Makarenko T. I., Bulgakova N. A., Tsariuk T. Ya.</i>	<i>The automation of the plant of two-plane cut and the methodics of soil testing on shift Dedyulya I. V., Agutin K. A. during negative temperature</i>	
Наумова Г. В., Пантелеев С. Н., Овчинникова Т. Ф., Жмакова Н. А., Макарова Н. Л., Макеенко А. А., Сенникова В. Д. <i>Naumova G. V., Panteley S. N., Ovchinnikova T. F., Zhmakova N. A., Makarova N. L., Makeenko A. A., Sennikova V. D.</i>	Влияние условий сушки и диаметра кускового торфа на его качество и характеристики получаемых активированных углей	138
Томсон А. Э., Соколов Г. А., Соколова Т. В., Пехтерева В. С., Сосновская Н. Е. <i>Tomson A. E., Sokolov G. A., Sokolova T. V., Pekhtereva V. S., Sosnovskaya N. E.</i>	Перспективы использования твердых отходов гуминового производства для стимулирования развития естественной кормовой базы рыб	144
Журавский Г. И., Петренко П. А. <i>Zhuravsky G. I., Petrenko P. A.</i>	Влияние природных органических и органоминеральных дисперсных материалов на поступление тяжелых металлов в растения	155
Айзберг Р. Е. <i>Aizberg R. E.</i>	<i>Influence of natural organic and organomineral dispersed materials on access to heavy metals in plants</i>	
Гарецкий Р. Г., Карапаев Г. И. <i>Garetsky R. G., Karataev G. I.</i>	Методика расчета термохимической конверсии органических отходов в газообразное топливо	165
Гарецкий Р. Г., Карапаев Г. И. <i>Garetsky R. G., Karataev G. I.</i>	<i>The method of calculating thermochemical conversion of organic waste into gas fuel</i>	
ДИСКУССИИ DISCUSSIONS		
Гарецкий Р. Г., Карапаев Г. И. <i>Garetsky R. G., Karataev G. I.</i>	Гипотеза о наличии трапового покрова в разрезе Оршанской впадины	172
Айзберг Р. Е. <i>Aizberg R. E.</i>	О литосфере и астеносфере в зоне Припятского и Днепровского палеорифтовых прогибов	179
Лысенко С. А., Хомич В. С., Какарека С. В., Кухарчик Т. И., Камышенко Г. А.	К 80-летию академика Владимира Федоровича Логинова <i>To the 80th anniversary of Academician Vladimir Fedorovich Loginov</i>	187
ЮБИЛЕЙ JUBILEE		
Памяти ученого IN THE MEMORY OF A SCIENTIST		
Памяти академика Николая Николаевича Бамбалова <i>In the memory of Academician Nikolai Nikolayevich Bambalov</i>		190

**ГЕОГРАФИЯ. ГЕОЭКОЛОГИЯ
GEOGRAPHY. GEOECOLOGY**

УДК 551.583+502.71

Поступила в редакцию 21.03.2020

Received 21.03.2020

**ПРИРОДА КВАЗИШЕСТИДЕСЯТИЛЕТНЕГО КОЛЕБАНИЯ
В КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ****В. Ф. Логинов, Ю. А. Бровка, В. С. Микуцкий***Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь*

Аннотация. Проведены исследования временной структуры изменений температуры воды в различных точках Атлантического океана на основе данных ERSST (The Extended Reconstructed Sea Surface Temperature) о температуре поверхности океана за 1885–2018 гг. Использованы методы сингулярно-спектрального анализа (Singular Spectrum Analysis, SSA, «метод гусеницы»), позволяющего разложить временной ряд на элементарные составляющие без предварительного задания их моделей.

Установлено, что вклад квазишестидесятилетних и трендовых компонент в колебание температуры воды Северной Атлантики изменяется в зависимости от широты. В высоких широтах западной и восточной частей Северной Атлантики доминирует квазишестидесятилетняя составляющая в изменении температуры, тогда как на экваторе и в субтропиках более мощным является тренд. Квазишестидесятилетние колебания в климатической системе могут возникать в результате внешних воздействий или без них. Данное колебание особенно заметно в изменении температуры высоких широт Северного полушария.

В высоких широтах Северного и Южного полушарий отмечена обратная связь в колебаниях температуры воды: одноименные экстремумы квазишестидесятилетнего цикла находятся в противофазе в различных полушариях. Выявлена тесная положительная связь квазишестидесятилетней составляющей скорости движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы и температуры воды в Северной Атлантике. Связь этого внешнего климатообразующего фактора с температурой воды в приантарктических широтах (Южный океан) отрицательная.

Ключевые слова: температура воды; квазишестидесятилетнее колебание; космические факторы; Атлантический океан.

Для цитирования. Логинов В. Ф., Бровка Ю. А., Микуцкий В. С. Природа квазишестидесятилетнего колебания в климатической системе // Природопользование. – 2020. – № 1. – С. 5–19.

**THE NATURE OF A QUASI-SIXTY-YEAR FLUCTUATION
IN THE CLIMATE SYSTEM****V. F. Loginov, Yu. A. Brovka, V. S. Mikutsky***Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

Abstract. The temporal structure of water temperature changes at various points of the Atlantic Ocean based on ERSST (The Extended Reconstructed Sea Surface Temperature) of ocean surface temperature data for 1885–2018 has been studied. The methods of Singular Spectrum Analysis (SSA) have been used. These methods allows of decomposing the time series into elementary components (trend, periodic components, noise) without first specifying their models.

It has been found that the contribution of quasi-six-decade and trend components to fluctuations in water temperature in the North Atlantic varies depending on latitude. In the high latitudes of the western and eastern parts of the North Atlantic, a quasi-sixty-year component in the change in temperature dominates, while at the equator and in the subtropics the trend is more powerful. Quasi-sixty-year fluctuations in the climate system can occur both as a result of external forcing and without it. This fluctuation is particularly prominent in the temperature changes in the high latitudes of the Northern Hemisphere.

In high latitudes of the Northern and Southern hemispheres inverse relationship in water temperature fluctuations has been observed: the extremes of the same name of the quasi-sixty-year cycle are in opposite phases in different hemispheres.

A close positive link between the quasi-sixty-year component of the Sun velocity relative to the center of mass of the solar system and water temperature in the North Atlantic has been revealed. This external climate-forming factor has a negative correlation with the water temperature in the Antarctic latitudes (Southern Ocean).

Keywords: water temperature; quasi-sixty-year oscillation; space factors; Atlantic ocean.

For citation. Loginov V. F., Brovka Yu. A., Mikutsky V. S. The nature of a quasi-sixty-year fluctuation in the climate system. *Nature Management*, 2020, no. 1, pp. 5–19.

Введение. Наличие колебания с периодом около 60–70 лет неоднократно отмечалось во многих крупномасштабных характеристиках климатической системы, таких как Северо-Атлантическое и Северо-Тихоокеанское колебания [1–3], а также в температуре Северного полушария. Оно наиболее выражено в температуре высоких широт и не может быть связано с антропогенной деятельностью. В работе [4] не обнаружено тренда в ряду разностей температуры Северного и Южного полушарий, хотя основные источники парниковых газов находятся в Северном полушарии.

В работах [4, 5] делается вывод, что размах 60–70-летнего колебания соизмерим с линейным трендом глобальной температуры. Авторы отмечают, что во время наступления минимума в указанном цикле в течение ближайших десятилетий можно ожидать приостановки глобального потепления. Однако последние два теплых года не свидетельствуют об этом. О более скромном вкладе 60–70-летнего колебания в дисперсию глобальной температуры сделан вывод в докладе Э. Р. Раньковой и Г. В. Груза на семинаре института глобального климата и экологии Росгидромета 20 мая 2013 г. Исследователи указали, что в разных районах Земного шара и месяцах года вклад 60-летнего колебания в дисперсию температуры ряда не достигает 25 %.

Указывалось, что колебания подобной длительности в климатической системе могут возникать в результате внешних воздействий [6, 7]. Однако многолетние автоколебания в климатической системе могут происходить и без внешних воздействий [8]. Следует отметить, что оценки роли внешних факторов в изменение климата Земли являются предметом острых дискуссий [9], тогда как природа положительного тренда в изменении температуры в подавляющем числе работ приписывается в основном росту содержания парниковых газов в атмосфере в результате антропогенной деятельности [9, 10].

В работе Н. Скафетта [7] показано, что в изменении скорости движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы имеются 20- и 60-летние модуляции солнечной орбиты. 60-летняя модуляция скорости Солнца также в точности соответствует 60-летней модуляции полярных сияний и глобальной температуры. После устранения восходящего тренда температуры, связанного, вероятно, с ростом парниковых газов, 60-летняя циклическая модуляция составляет 0,3–0,4 °C [7]. Эта оценка в 2 раза превышает оценку вклада этого цикла в изменение температуры, выявленного Э. Я. Раньковой и Г. В. Грузой [11].

Квазишестидесятилетний цикл особенно заметен в изменении климата высоких широт Северного полушария. Амплитуда этого колебания по разным оценкам составляет от 15 до 40 % от общей изменчивости ряда температуры высоких широт. Как уже отмечалось выше, в изменении скорости Солнца относительно центра масс Солнечной системы кроме ярко выраженного 20-летнего колебания проявляется и 60-летнее колебание. Оно связано с расположением планет Юпитера и Сатурна. Выстраивание в одну линию указанных планет и дает начало 60-летнему приливному циклу на Солнце и в гелиосфере (околоземном космическом пространстве).

Цикличность подобной длительности, связанная с магнитными полями Юпитера и Сатурна, также может проявляться в гелиосфере. Квазишестидесятилетние циклы наряду с 11-летними обнаружены в изменении числа солнечных пятен.

Как показал анализ результатов ряда работ, оценки вклада этого колебания в изменения различных гидрометеорологических параметров существенно различаются. Только лишь совпадение длительности 60-летнего цикла в соединениях больших планет Солнечной системы и гидрометеорологических процессах не является доказательством их причинно-следственных связей. Ряд авторов [9, 12, 13] считает, что близкий по длительности цикл в климатической системе связан с автоколебаниями, которые могут возникать и без внешних воздействий.

Автоколебания в климатической системе возникают в результате обмена энергией между ее инерционными накопителями (морские льды и теплый океан в низких широтах) [12, 14, 15]. Ледовитость Арктики связана с морскими течениями, за счет чего в климатической системе может создаваться цепь автоколебаний: таяние льда в Арктике → усиление интенсивности Лабрадорского течения → уменьшение интенсивности теплого течения Гольфстрим → увеличение ледовитости Арктики. Эта идея была высказана еще в 1940-х годах академиком В. В. Шулейкиным.

Процесс охлаждения полярных широт не может продолжаться до бесконечности; увеличивающийся градиент температуры «экватор–высокие широты» приводит к усилиению западных воздушных потоков, продвижению путей циклонов в северном направлении, что обусловливает потепление Арктики, как это было в 1930–40-е годы и в последние два десятилетия, т. е. через 60–70 лет.

Развивая идею В. В. Шулейкина, Н. И. Яковлева провела эмпирические исследования автоколебательных процессов глобального масштаба в гидросфере и атмосфере Земли [12, 13] и установила

длительность автоколебаний около 80–90 лет, что значительно отличается от выявленного квазишестидесятилетнего колебания. Таким образом, для выяснения причинности 60–90-летних колебаний в климатической системе требуются дальнейшие исследования пространственно-временных проявлений внешнего фактора в изменении гидрометеорологических процессов и явлений, а также согласованности фаз соединений Юпитера и Сатурна и фаз гидрометеорологических процессов и явлений.

Материалы и методика исследований. В работе использовались данные ERSST v3b (The Extended Reconstructed Sea Surface Temperature) о температуре поверхности океана (ТПО) в узлах топографической сетки 2×2 градуса широты и долготы за 1885–2018 гг.

Массив данных ERSST v3b представляет собой восстановленные ряды месячных аномалий температуры поверхности океана относительно норм за 1971–2000 гг. Восстановление пропущенных данных статистическими методами выполнено авторами массива. В отличие от предыдущей версии, новая версия ERSST v3b не включает спутниковые данные, которые, как было установлено, вызывают слишком сильное смещение значений температуры. Данные ТПО в узлах севернее 80° с. ш. получены по фрагментарным сведениям и не являются однородными. Их ненадежность послужила препятствием для использования в работе. В процессе анализа многолетнего хода обнаружено, что данные за ранние годы почти не содержат колебаний ТПО, особенно в высоких широтах обоих полушарий. Это, вероятно, связано с недостатком данных наблюдений за ранние годы.

Данные об изменении инсоляции Земли взяты из работы [16], скорости движения Солнца относительно центра масс планет Солнечной системы – из работы Н. Скафетта [7]. Поскольку на графике межгодовой изменчивости скорости Солнца относительно центра масс Солнечной системы достаточно четко проявляется близкая к 60 годам модулированность максимумов и минимумов квазидвадцатилетнего колебания, то использовано сглаживание ряда гармоническими косинусоидальными огибающими. Критерием оптимизации параметров огибающих кривых была минимизация суммы квадратов их отклонений от исходных данных с наложением ограничений на амплитуду и период косинусов в пределах $[0,8 A; 1,2 A]$ и $[55; 65$ лет] соответственно (здесь A – амплитуда квазишестидесятилетнего колебания максимумов (минимумов) скорости движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы).

Прямолинейная генерализация данных проводилась путем вычисления стандартных линейных трендов вида $y = a \cdot t + b$ по методу наименьших квадратов. В работе использовались также методы корреляционного анализа. Для исследования временной структуры изменений температуры в различных точках Мирового океана использовался спектрально-сингулярный анализ (Singular Spectrum Analysis, SSA), в русскоязычной литературе – «метод гусеницы» [17, 18]. Данный метод основан на преобразовании одномерного временного ряда в многомерный с последующим применением к нему метода главных компонент. SSA позволяет разложить временной ряд по элементарным составляющим (тренду, периодические компоненты, шум) без предварительного задания их моделей.

Результаты исследований.

Пространственно-временные изменения температуры воды в Атлантическом океане.

Основной в изменении температуры воды на широте 60° с. ш. и долготе 312° в. д. (западная часть Северной Атлантики) является квазишестидесятилетняя компонента (рис. 1).

Доля дисперсии средней температуры воды, описываемой квазишестидесятилетней главной компонентой составляет 27,6 %. На широте 44° с. ш. доля дисперсии квазишестидесятилетней компоненты от общей дисперсии ряда составляет 10,8 %, и ее амплитуда меньше в 2,6 раза, чем аналогичной по длительности компоненты на 60° с. ш. Еще южнее доля дисперсии квазишестидесятилетней компоненты составляет всего 4,7 %. Отмечается слабая по амплитуде квазидвадцатилетняя компонента. Доля ее дисперсии составляет 2,8 % от общей дисперсии ряда температуры.

В восточной части Северной Атлантики в широтном поясе $0\text{--}42^{\circ}$ с. ш. $\sim 348^{\circ}$ в. д. и особенно на широте 60° с. ш. квазишестидесятилетняя составляющая выражена еще более отчетливо (рис. 2). Здесь ее вклад составляет 31 % от общей дисперсии ряда. Доля дисперсии квазидвадцатилетней составляющей (около 22 лет) составляет 7,3 %, т. е. здесь это колебание почти в 2 раза мощнее, чем в западной части Северной Атлантики; его амплитуда увеличилась в последние 60–70 лет.

На широте 44° с. ш. доля дисперсии квазишестидесятилетней компоненты ряда составляет около 15 % от общей дисперсии ряда, а квазидвадцатилетней – 7 %. Амплитуда последней составляющей уменьшается во времени. Отметим, что квазидвадцатилетняя составляющая лучше проявляется в температуре на востоке Атлантического океана на широтах 44° и 28° , чем на западном побережье. Это район холодного Канарского течения и энергоактивной зоны второго типа. Последняя особенно заметна на этих широтах в теплое время года (VI–IX) [19].

Таким образом, в изменении температуры воды в восточной части Северной Атлантики следует выделить квазишестидесятилетнюю компоненту.

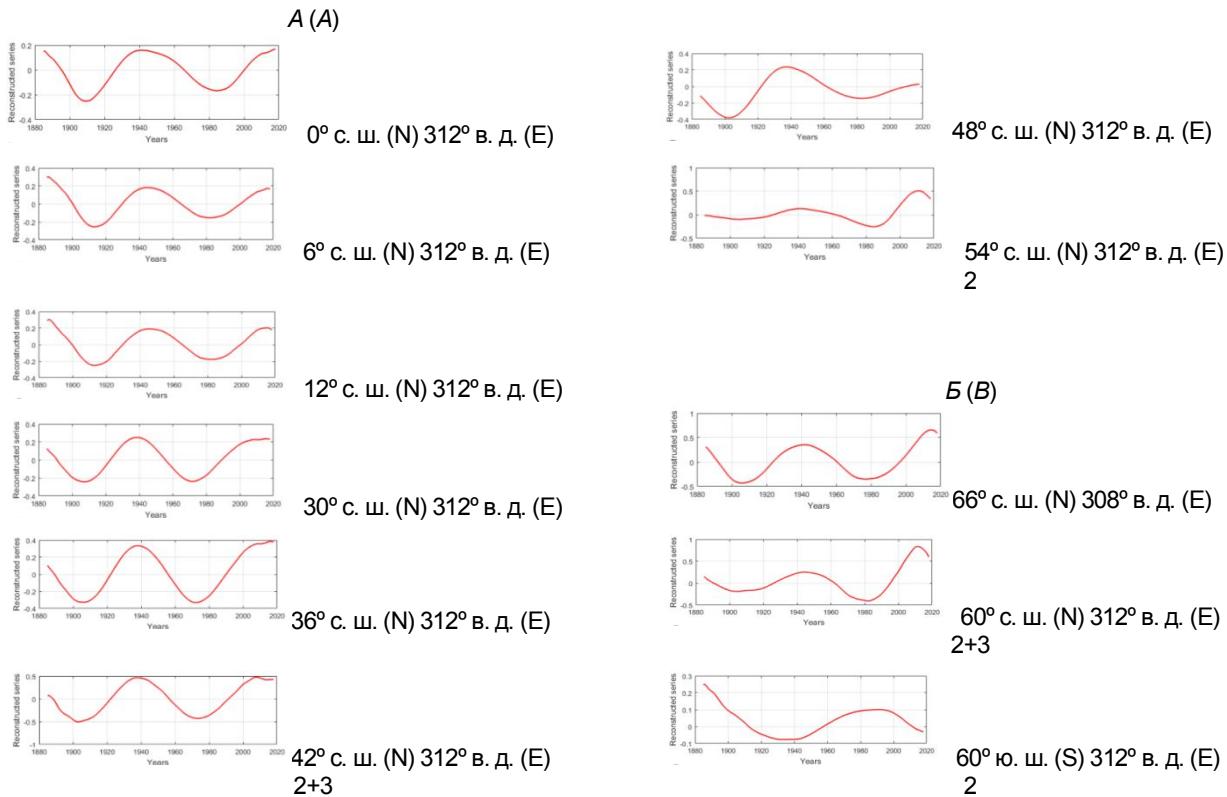


Рис. 1. Долгопериодные компоненты в изменении температуры воды

в западной части Атлантического океана:

А – квазишестидесятилетняя компонента в низких и средних широтах Северного полушария;
Б – квазишестидесятилетняя компонента в высоких широтах Северного и Южного полушарий

Fig. 1. Long-period components in water temperature change in the western Atlantic Ocean:
A – quasi-sixty-year component in the low and middle latitudes of the Northern Hemisphere;
B – quasi-sixty-year component in high latitudes of the Northern and Southern Hemispheres

В зависимости от широты вклад квазишестидесятилетних и трендовых компонент в колебание температуры воды Северной Атлантики изменяется (табл. 1 и 2).

Таблица 1. Доля дисперсии трендовой составляющей от общей дисперсии ряда температуры (%) в Атлантическом океане

Table 1. The fraction of the variance of the trend component in the total variance of the temperature series (%) in the Atlantic Ocean

Широта, °	Доля дисперсии, %	
	западная часть	восточная часть
60	3,5	1,1
44	0,4	5,8
28	25,0	28,9
0	24,8	35,5

Таблица 2. Доля дисперсии шестидесятилетнего колебания в общей дисперсии ряда температуры (%) в Атлантическом океане

Table 2. The fraction of the variance of a sixty-year fluctuations in the total variance of the temperature series (%) in the Atlantic Ocean

Широта, °	Доля дисперсии, %	
	западная часть	восточная часть
60	27,6	31,0
44	10,8	14,9
28	7,3	9,5
0	14,2	1,9

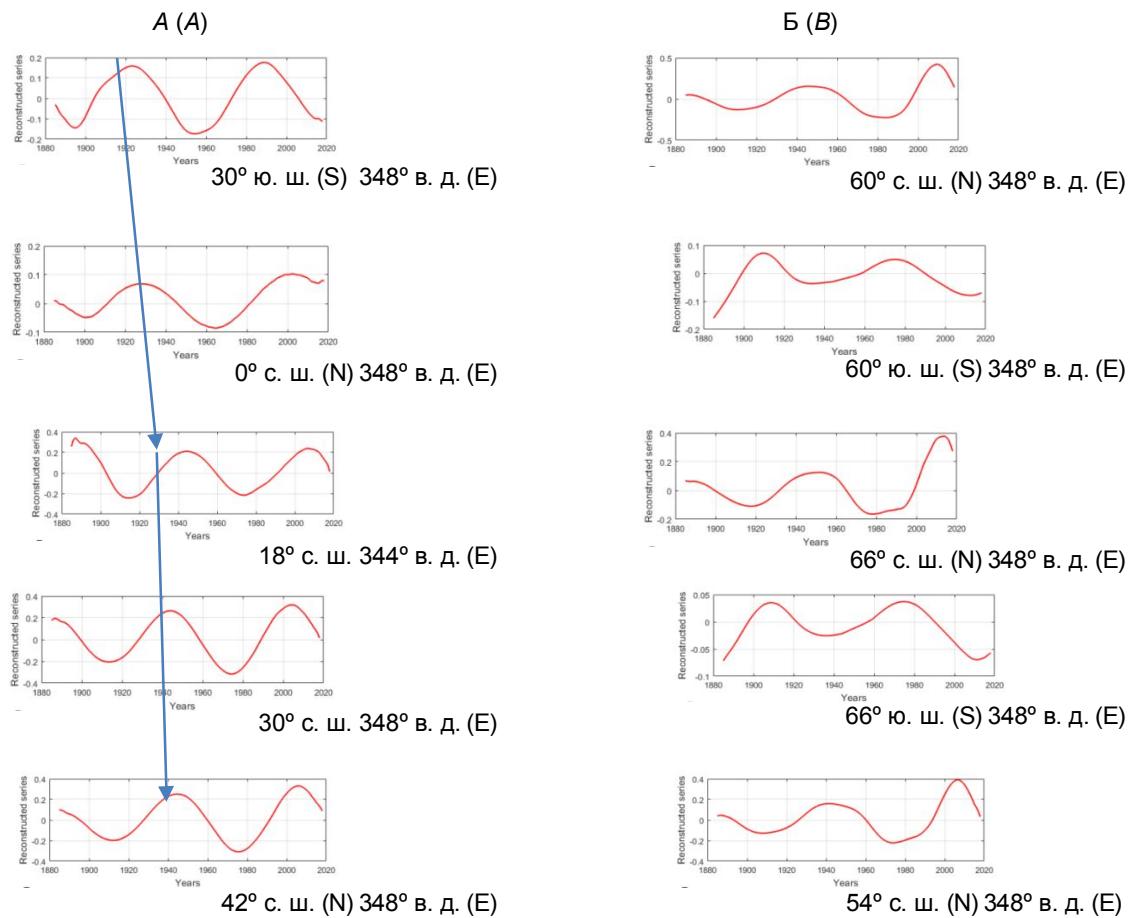


Рис. 2. Квазишестидесятилетняя компонента в изменении температуры воды в восточной части Атлантического океана: А – в низких и средних широтах Северного полушария; Б – в высоких широтах Северного и Южного полушарий

Fig. 2. Quasi-sixty-year component in water temperature change in the eastern Atlantic Ocean:
A – in the low and middle latitudes of the Northern hemisphere;
B – in high latitudes of the Northern and Southern hemispheres

В табл. 1 приведены значения доли дисперсии трендовых составляющих от общей дисперсии рядов температуры воды Северной Атлантики. Анализ информации, представленной в табл. 1, позволяет заключить, что как в восточной, так и в западной частях Северной Атлантики наибольший вклад трендовой составляющей в ТПО отмечается на экваторе и в субтропиках (24,8–35,5 %). С увеличением широты его величина уменьшается и на 44° параллели составляет в восточной и западных частях 6 и 1 % от общей дисперсии ряда соответственно.

На широте 60° существует даже слабая отрицательная тенденция в изменении температуры, по крайней мере, в начальный период наблюдений – с 1887 по 1990 г. Следует также отметить наличие более слабого положительного тренда в изменении температуры воды в западной части Атлантики по сравнению с восточной частью в низких широтах, что проявляется в различии вклада трендовой составляющей в общую дисперсию на экваторе: доля дисперсии трендовой составляющей в изменении дисперсии ряда температуры воды составляет 35,5 % (восточная часть) и 24,8 % (западная часть) соответственно.

Анализ показал, что в восточной части Северной Атлантики положительный тренд максимальный на экваторе: рост температуры составляет около 0,8 °С. С увеличением широты доля дисперсии к общей дисперсии ряда температуры уменьшается и на 44-й параллели доля выбиралась трендом дисперсии составляет всего 6 %, а на 60-й параллели тренд температуры воды даже слабо отрицательный или близок к нулю. Доминирующим здесь становится квазишестидесятилетняя составляющая в изменении температуры. Доля дисперсии этой составляющей в изменении общей дисперсии ряда уменьшается с широтой (табл. 2).

Исключение составляет значительный вклад шестидесятилетнего колебания на экваторе в западной части Атлантики, где близко к друг другу проходят противоположно направленные Гвианско и Экваториальное противотечение Ломоносова.

Генерализированные особенности в изменении температуры воды Атлантического океана. Принимая во внимание пространственно-временные изменения температуры воды в Атлантическом океане с целью исключения влияния циркуляционного фактора на изменения температуры воды, было проведено осреднение температуры воды широтных зон: 60–66° с. ш., 0–58° с. ш., 2–32° ю. ш., 34–50° ю. ш., 52–56° ю. ш. и 60–66° ю. ш. в долготном поясе 54° з. д.–20° в. д. (рис. 3, 4).

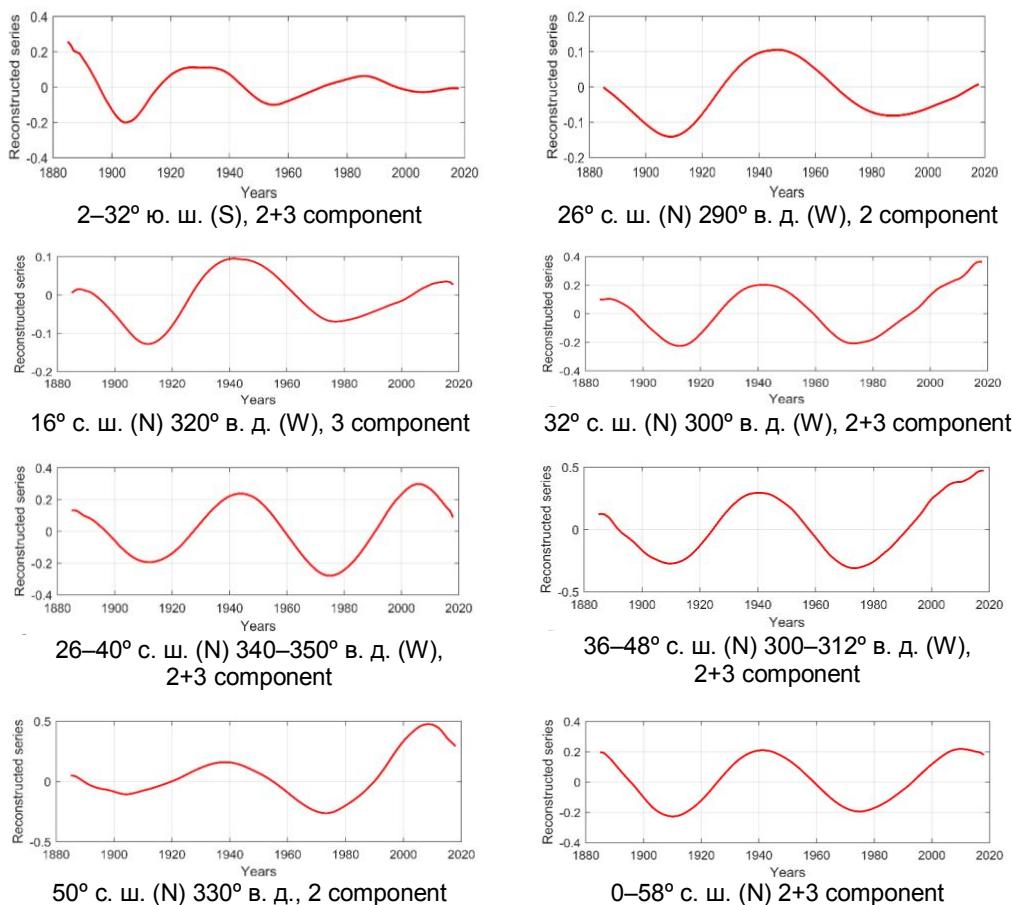


Рис. 3. Квазишестидесятилетняя составляющая изменения температуры воды Атлантического океана

Fig. 3. Quasi-sixty component changes in water temperature of the Atlantic Ocean

Проведенный анализ показал, что в приполярных районах Северной Атлантики доля дисперсии квазишестидесятилетней компоненты от общей дисперсии ряда температуры достигает 47,6 %. Трендовая компонента на этих широтах оказалась незначительной: положительный тренд температуры воды заметен лишь в последнее тридцатилетие. Это может свидетельствовать о том, что потепление климата стало выраженным лишь в последнее время.

В умеренной, субтропической и тропической зоне доля дисперсии квазишестидесятилетнего колебания от общей дисперсии ряда температуры воды уменьшается почти в 2 раза, а доля дисперсии трендовой компоненты становится соизмеримой с долей квазишестидесятилетнего колебания.

В приантарcticких широтах (60–66° ю.ш.) обнаружена мощная квазишестидесятилетняя компонента: доля дисперсии второй главной компоненты в общей дисперсии ряда температуры доходит почти до 38 % (для сравнения на таких же широтах в Северном полушарии – 47,6 %) (см. рис. 4).

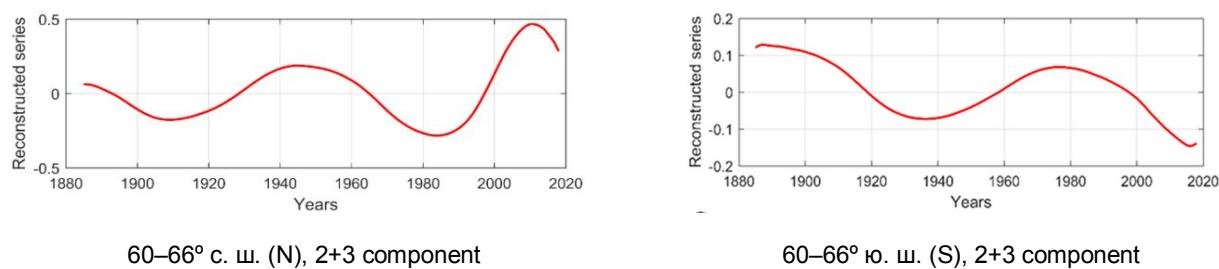


Рис. 4. Квазишестидесятилетняя составляющая в колебании температуры воды в высоких широтах Северного и Южного полушарий (Атлантический сектор)

Fig. 4. Quasi-sixty component in fluctuations of water temperature in high latitudes Northern and Southern Hemispheres (Atlantic Sector)

Однако если учесть, что третья главная компонента имеет такую же фазировку, как и вторая, то доля их суммарной дисперсии в общей дисперсии ряда может превысить долю второй компоненты в изменении температуры в Северном полушарии.

Фазы максимумов и минимумов квазишестидесятилетней компоненты в Южном полушарии смещены относительно максимумов и минимумов в Северном полушарии почти на полпериода, т. е. отмечается обратная (отрицательная) связь температуры воды в высоких широтах Южного и Северного полушарий Земли. Это свидетельствует о наличии «качелей» в изменении температуры высоких широт обоих полушарий.

Особенности в изменении амплитуды квазишестидесятилетнего колебания сводятся к следующему:

- щему:

 - 1) амплитуда квазишестидесятилетней компоненты от экватора в направлении высоких широт каждого из полушарий Земли увеличивается;
 - 2) амплитуда квазишестидесятилетней компоненты в области таких холодных течений, как Дабрадорское и Канарское, увеличивается.

Эти особенности ярко выражены в районах энергоактивных зон в океане и атмосфере, на восточной периферии океанических антициклонов над поверхностью холодных морских течений, где затраты тепла на испарение меньше по сравнению с областями теплых морских течений. Турбулентный поток мал по абсолютной величине и летом направлен от атмосферы к более холодной поверхности океана.

Большую часть года радиационный баланс превышает затраты тепла на испарение и значительное количество тепла передается в более глубокие слои океана. Это тепло идет на нагревание холодных масс воды, переносимых течениями. В восточных частях океана развита пассатная циркуляция; здесь происходит оседание воздуха с больших высот, возникают инверсии температуры и устойчивая стратификация тропических воздушных масс. В результате ослабляются вертикальные конвективные движения и в тонком приземном слое идет активное нагревание воздуха при малой облачности, что и приводит к более интенсивному росту температуры над холодными морскими течениями.

Еще раз подчеркнем, что в субтропиках малая облачность, увеличенный приток солнечной радиации к подстилающей поверхности и, как следствие, интенсивное нагревание. Здесь выпадает малое количество осадков.

Еще одной причиной более интенсивного роста температуры в районах, где амплитуда квазишестидесятилетней компоненты увеличивается, может быть уменьшение глубин и, как следствие, более активное прогревание морской воды. Здесь может проявляться такой же эффект, как и в случае набегания волны на мелководье, приводящем к увеличению ее амплитуды.

Связь температуры воды в Атлантическом океане с космическими факторами. Одним из таких факторов может быть долгопериодная квазишестидесятилетняя составляющая в изменении скорости движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы (ЦМСС). В изменении этого фактора отчетливо проявляются квазишестидесятилетняя и квазидвадцатилетняя компоненты (рис. 5).

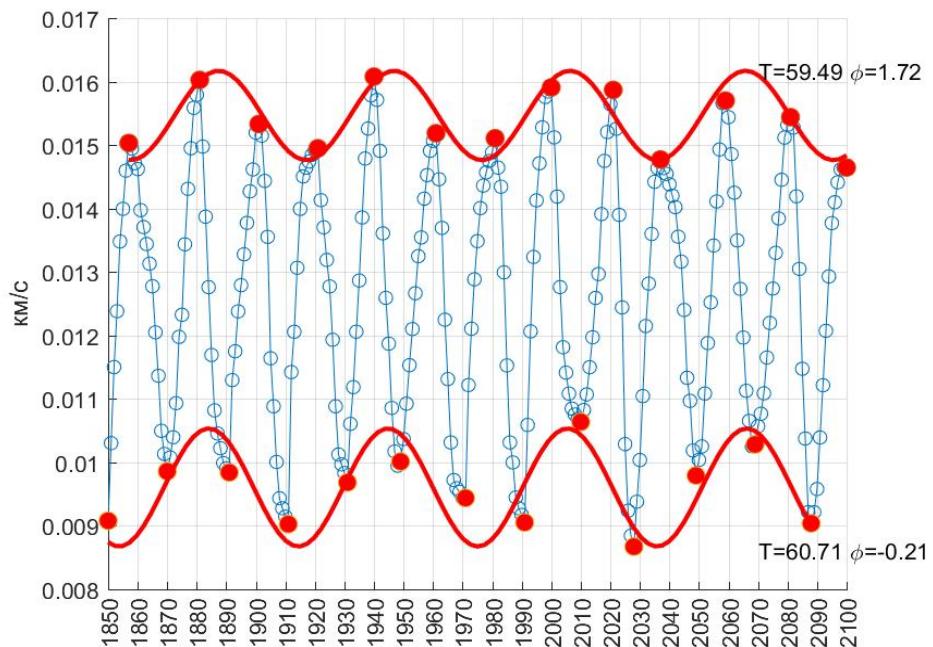


Рис. 5. Скорость движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы и огибающие кривые ее максимальных и минимальных значений

Fig. 5. The velocity of the sun relative to the center of mass of the solar system and the envelope curves of its maximum and minimum values

Оптимальным образом описывает экстремумы 20-летних колебаний скорости Солнца относительно центра масс Солнечной системы синусоида с периодом 59,49 лет. Ее максимум приходится на середину 1880-х, 1940-х, 2000-х и 2060-х годов.

Коэффициенты корреляции квазишестидесятилетних компонент ТПО в разных точках Мирового океана со скоростью движения Солнца относительно ЦМСС приведены в табл. 3.

Таблица 3. Коэффициенты корреляции температуры воды в разных точках Мирового океана со скоростью движения Солнца относительно ЦМСС

Table 3. The correlation coefficients between of water temperature at different points of the oceans and the Sun velocity relativity CMSS

Главные компоненты (ГК) для различных точек Атлантического океана	Огибающая максимумов 20-летних циклов	Огибающая минимумов 20-летних циклов
2+3 ГК $\phi = 60^\circ$ с. ш., $\lambda = 340^\circ$ в. д.	0,79	0,79
2+3 ГК $\phi = 44^\circ$ с. ш., $\lambda = 340^\circ$ в. д.	0,76*	0,85*
2+3 ГК $\phi = 28^\circ$ с. ш., $\lambda = 340^\circ$ в. д.	0,97*	0,99*
2 ГК $\phi = 0^\circ$, $\lambda = 340^\circ$ в. д.	0,34	0,44
2+3 ГК $\phi = 60^\circ$ с. ш., $\lambda = 312^\circ$ в. д.	0,70	0,73
2+3 ГК $\phi = 44^\circ$ с. ш., $\lambda = 312^\circ$ в. д.	0,71*	0,81*
2+3 ГК $\phi = 28^\circ$ с. ш., $\lambda = 312^\circ$ в. д.	0,65	0,77
2+3 ГК $\phi = 0^\circ$, $\lambda = 312^\circ$ в. д.	0,77	0,81
2+3 ГК $\phi = 60^\circ$ ю. ш., $\lambda = 0^\circ$ (Гринвич)	-0,43	-0,50
2+3 ГК $\phi = 28^\circ$ ю. ш., $\lambda = 0^\circ$ (Гринвич)	-0,20	-0,03

* Статистически значимый коэффициент корреляции.

Как видно из табл. 3, коэффициенты корреляции сопоставляемых величин статистически значимы. Теснота связи уменьшается на экваторе и в южных широтах, но только в одной точке в Южном полушарии ($\phi = 28^\circ$ ю. ш., $\lambda = 0^\circ$) она становится статистически незначимой. Особенно тесная связь сопоставляемых характеристик отмечается в районах действия Канарского и Лабрадорского течений.

Это позволяет сделать вывод о том, что квазишестидесятилетняя составляющая скорости движения Солнца относительно ЦМСС и температура воды в Северной Атлантике тесно связаны. Температура воды в приантарктических широтах (Южный океан) имеет отрицательную связь со скоростью движения Солнца относительно ЦМСС. Следует однако отметить, что температура воды в субтропиках Индийского океана ($\phi = 28^\circ$ ю. ш., $\lambda = 90^\circ$ в. д.) связана со скоростью движения Солнца относительно ЦМСС прямой связью ($r = \sim 0,3$). Этот коэффициент корреляции статистически значим.

Принимая во внимание, что в других широтных и долготных зонах Атлантического океана максимальные и минимальные фазы квазишестидесятилетней компоненты несколько смещены относительно друг друга, то при сдвиге температуры этих зон относительно скорости движения Солнца вокруг ЦМСС на несколько лет в подавляющем числе случаев можно получить (по крайней мере для Северной Атлантики) статистически значимые коэффициенты корреляции.

Таким образом, имеются основания считать и приведенные результаты подтверждают, что квазишестидесятилетняя составляющая в изменении скорости движения Солнца относительно ЦМСС связана с температурой воды Атлантического океана.

Фаза максимума квазишестидесятилетнего колебания этого космического фактора пройдена, и в ближайшие годы должно наступить снижение температуры воды в Атлантическом океане, если доля дисперсии трендовой составляющей, связанной, вероятно, с парниковым потеплением, не превысит величину доли квазишестидесятилетнего колебания в изменении температуры воды. Другие составляющие имеют меньший вес в изменении общей дисперсии рядов температуры воды.

Квазишестидесятилетние колебания температуры воды в различных широтных зонах Атлантического океана. Анализ изменений величины трендов и отдельных главных компонент в изменении температуры воды в широтном поясе $34\text{--}50^\circ$ ю. ш. Атлантического океана показал, что отношение величины дисперсии трендовой компоненты в изменении температуры воды к общей дисперсии ряда составляет 93,5 %, т. е. на фоне трендовой составляющей все другие составляющие в изменении температуры воды вносят незначительный вклад в изменение температуры. Отношение дисперсии квазитридцатилетней компоненты к общей дисперсии составляет около 4 %, а на долю других главных компонент приходится около 3 %, при этом размах колебаний температуры находится в интервале $\pm 0,1$ °C. Размах колебаний температур для квазидвадцатилетней компоненты составляет еще меньшую величину.

В субтропической и приэкваториальной области Южного полушария ($2\text{--}32^\circ$ ю.ш.) отношение величины трендовой компоненты в изменении температуры к общей дисперсии ряда составляет 76,4 %.

Вторая и третья квазишестидесятилетние главные компоненты в изменении температуры слабо заметны на фоне трендовой составляющей. Для этих компонент характерно затухание амплитуды после 1930-х годов. Оно, вероятно, связано с интенсификацией потепления климата в последние десятилетия, которое затушевывает естественные колебания. Отношение суммарной дисперсии этих двух компонент к общей дисперсии ряда температуры воды немного превышает 5 %. Вклад любых других главных компонент меньше 1 %.

В Северной Атлантике частотная структура температуры воды принципиально изменяется. Вклад циклических главных компонент возрастает более чем в 5 раз, а величина трендовой составляющей уменьшается приблизительно в 3–4 раза по сравнению с величинами трендовых составляющих в приэкваториальной и субтропической областях Южного полушария ($2\text{--}32^\circ$ ю. ш.) и области умеренных широт ($34\text{--}50^\circ$ ю. ш.). Отношение дисперсии второй и третьей главных квазишестидесятилетних компонент в изменении температуры воды в Северной Атлантике составляет около 29 %. Это означает, что квазишестидесятилетняя компонента в изменении температуры воды характерна для Северной Атлантики, где ее вклад в изменение температуры воды даже несколько превышает вклад трендовой составляющей. Здесь также можно отследить квазидвадцативхлетнюю и квазидевятнадцатилетнюю главные компоненты, но отношение дисперсий указанных компонент к общей дисперсии ряда температур составляет около 1 %.

Вблизи полярного круга и на полярном круге Северного полушария изменение температуры воды тесно коррелирует с температурой воды в широтном поясе $0\text{--}58^\circ$ с. ш. с той лишь разницей, что здесь вклад трендовой составляющей в изменение температуры (первая главная составляющая) существенно уступает квазишестидесятилетней составляющей. Отношение дисперсии трендовой составляющей к общей дисперсии ряда составляет менее 1 %. Отношение дисперсии квазишестидесятилетней составляющей температуры к общей дисперсии ряда температур составляет в высоких широтах около 48 %, отношение дисперсии 22–23-летней составляющей – около 5 %, отношение дисперсий других ортогональных составляющих к общей дисперсии ряда температуры – менее 1 %.

Амплитуда квазишестидесятилетней компоненты в изменении температуры воды Северной Атлантики особенно быстро увеличивается в последние десятилетия. Это означает, что если принять

природу квазишестидесятилетней составляющей в изменении температуры воды автоколебательной, то постоянный источник, питающий автоколебательную систему, должен усиливаться.

Увеличивающаяся скорость роста температуры в субтропических широтах Южной Атлантики с конца 1950-х годов свидетельствуют об усилении действия постоянного теплового источника в период наблюдений (рис. 6). Этот регион находится в поле действия такого мощного источника, как Экваториальное течение и его продолжения – Флоридского течения.

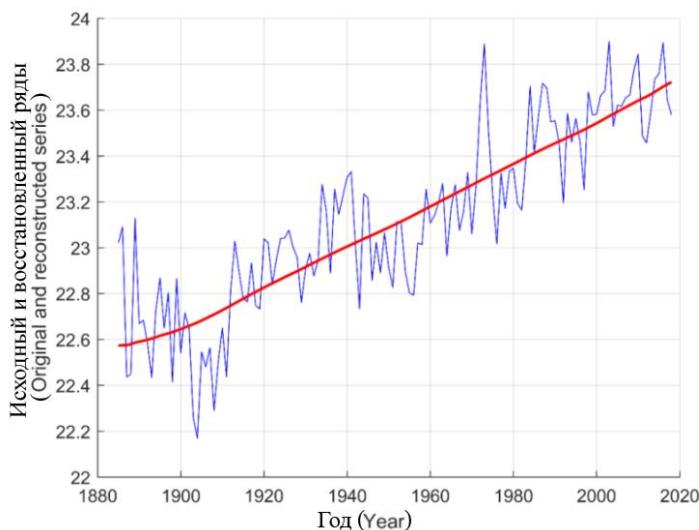


Рис. 6. Изменение температуры воды в квадрате: $\phi = 26\text{--}36^\circ$ ю. ш., $\lambda = 30^\circ$ з. д.–0

Fig. 6. Change in water temperature in the square: $\phi = 26\text{--}36^\circ$ S, $\lambda = 30^\circ$ W–0

Интенсификации деятельности источника способствует усиление Атлантической меридиональной циркуляции, которая в свою очередь усиливает квазишестидесятилетнюю компоненту в изменении температуры воды Атлантического океана.

Генеральные особенности проявления квазишестидесятилетней составляющей в изменении температуры воды в Атлантическом океане состоят в следующем. Граница раздела двух регионов с антифазным изменением температуры воды в квазишестидесятилетнем колебании в Атлантической акватории проходит по широтному поясу 30–40° ю. ш. в восточной части Атлантики. Это пояс Южно-Пассатного теплого течения и отсюда переносится в северо-западном направлении теплая вода. Если максимум квазишестидесятилетнего колебания температуры воды на 30° ю. ш. зарегистрирован в 1922 г., а минимум – спустя 30 лет, то с запаздыванием около 14 лет они отмечаются на 12° с. ш. Следует отметить, что скорость передачи возмущения с субтропических широт Южного полушария в субтропические и средние широты Северного полушария изменяется: наименьшая скорость характерна для приэкваториальных широт, а наибольшая – для субтропических и умеренных широт Северного полушария. Максимумы (минимумы) квазишестидесятилетней волны в изменении температуры воды на широте Северного полярного круга (66° с. ш.) наступает спустя приблизительно 14 лет относительно максимумов (минимумов) квазишестидесятилетней компоненты в приэкваториальных широтах (см. рис. 2).

Подобное по длительности колебание, но уже с почти противоположной фазой обнаруживается в приантарктических широтах (54–66° ю. ш.). Здесь проходит самое мощное в Мировом океане западное Антарктическое циркумполярное течение, которое не встречает на своем пути никаких преград (материков, островов).

Его стержень в зависимости от долготы проходит в широтном поясе 50–65° ю. ш., а южная ветвь – в Атлантическом океане (Южном океане) в широтном интервале 55–65° ю. ш. В указанных районах в широтном поясе 54–66° ю. ш. для второй главной составляющей отношение дисперсии квазишестидесятилетнего колебания в изменении температуры к общей дисперсии составляет 13 %, а третьей главной составляющей на 60 и 66° ю. ш. – 12 и 14 % соответственно.

Фазы квазишестидесятилетних компонент на указанных широтах практически совпадают: максимумы наступают в 1909 и 1973 г., а минимумы – в 1938 и 2010 г.

В широтном поясе 55–66° с. ш. соответствующие максимумы в изменении температуры воды для квазишестидесятилетней волны наступили в 1943 и 2008 г.; 1947 и 2009 г.; 1952 и 2014 г. соот-

ветственно. Для этого широтного пояса средние значения времени наступления максимумов будут равны: 1947 и 2010 г., а среднее время наступления минимумов – 1912 и 1980 г.

Таким образом, средняя длительность рассматриваемой главной составляющей составляет около 64 лет.

Фазировка максимумов и минимумов квазишестидесятилетней компоненты в указанных широтных поясах Северного и Южного полушарий практически обратная, что свидетельствует об отрицательной корреляции температуры воды в приантарктических широтах и в полярных широтах Северного полушария. Разность времени запаздывания в наступлении максимумов и минимумов квазишестидесятилетних компонент в Северном полушарии относительно соответствующих максимумов и минимумов в субтропических широтах Атлантического океана в среднем составляет 30–31 год. Это означает, что полный цикл кругооборота воды от субтропического пояса Атлантического океана до полярных широт Северной Атлантики составляет около 62 лет, что близко к длительности квазишестидесятилетнего колебания в изменении температуры воды в Атлантическом океане.

Таким образом, общее время наступления максимумов и минимумов квазишестидесятилетней компоненты в изменении температуры воды на Северном полярном круге относительно 30° ю. ш. запаздывает на 27–28 лет, а на широте 75° с. ш. – на 30–31 год, при этом полный цикл круговорота воды в Атлантическом океане (30° ю. ш.–75° с. ш.) составит около 62 лет. Ненадежность данных о температуре воды в высокосиротных районах не позволяет определить время запаздывания точнее, чем ±1 год. Такой грубый подсчет позволил определить наличие квазишестидесятилетнего колебания температуры воды в Атлантическом океане.

Характер изменений температуры воды в субтропических широтах Южной Атлантики. В субтропических широтах Южной Атлантики (26–36° ю. ш. 330° в. д.–0°) непрерывный рост температуры с практически неизменной скоростью происходит с начала XX в. (см. рис. 6). За 115 лет он составил около 1,2 °С, что существенно больше среднего роста температуры океанов в Северном и Южном полушариях Земли. Здесь проходит и затем поворачивает на север в Атлантический океан петля Брокера, создаются особые термодинамические условия. В этой широтной зоне Южной Атлантики (34–50° ю. ш.) квазишестидесятилетняя компонента крайне слабая (около 1 % от общей дисперсии), а вклад дисперсии трендовой составляющей в изменении температуры воды в общую дисперсию составляет 75 %.

Гидрологические условия широтного пояса Южной Атлантики (30–40° ю. ш.), вероятно, могут претендовать на уникальность. Она состоит в непрерывном росте температуры в течение 115 лет, тогда как даже в Арктике, где парниковое потепление, исходя из положений парниковой теории климата, должно быть наиболее ярко выражено, наблюдалась эпоха, когда температура воздуха была ниже нормы (1956–1978 гг.). Температура здесь стала активно расти только в конце 1980-х годов. Можно считать сюрпризом, что указанная широтная зона Южной Атлантики реагирует на рост парниковых газов в атмосфере более «правильно» (т. е. в соответствии с теорией парникового потепления), чем высокие широты, где альбедные положительные связи должны обеспечивать более интенсивное потепление, чем в среднем на Земном шаре. Это в действительности и наблюдается, но только в последние десятилетия. Однако наблюдающиеся скачки и паузы в изменении температуры, в том числе в высоких широтах Северного полушария, не укладываются в рамки парниковой теории [9]. Температура в квадрате ($\phi = 26–36^\circ$ ю. ш., $\lambda = 20^\circ$ з. д.–0° (50° в. д.) может претендовать на роль предиктора температуры воды в Северной Атлантике и, как следствие, температуры воздуха в Европе, на что ранее обратил внимание Б. Г. Шерстюков [20], обнаружив тесную связь температуры воды в точке с координатами $\phi = 30^\circ$ ю. ш., $\lambda = 18^\circ$ в. д. с температурой воздуха в г. Москве.

Интенсификация Южного Пассатного теплого течения еще до резкого роста парниковых газов в атмосфере приводила к усилению переноса тепла и влаги в Северную Атлантику и Северный Ледовитый океан, уменьшая тем самым его ледовитость.

Уменьшение ледовитости происходило особенно быстро в последние два десятилетия, что привело к возрастанию пространства открытой воды. Это способствовало уменьшению альбедо подстилающей поверхности и росту содержания в атмосфере главного парникового газа – водяного пара. Увеличивающееся содержание водяного пара в арктической атмосфере зимой приводит к дополнительному увеличению притока длинноволновой радиации к поверхности Земли и, как следствие, повышению температуры воздуха высоких широт.

Данный механизм будет активно работать в теплое время года, когда увеличивается содержание водяного пара, и он может обеспечить развитие потепления климата даже без антропогенных факторов. Такие схемы были рассмотрены нами в работе [9]. Смещение потепления на теплое время года в последние два десятилетия не противоречит этой гипотезе.

Кроме того, дополнительное радиационное нагревание атмосферы и воды в субтропических широтах происходит вследствие уменьшения содержания в атмосфере аэрозолей вулканогенного

происхождения (после извержения вулкана Пинатубо в 1991 г. не было крупных вулканических извержений), а также антропогенных аэрозолей в результате проведения природоохранных мероприятий в развитых странах мира. Это еще больше «разгоняет» летнее потепление климата в последние двадцать лет. Таким образом, борьба с потеплением климата имеет и свои минусы.

Изменение температуры поверхности в этом уникальном регионе Атлантического океана может реализовываться и через эффекты глубинных холодных течений (нижняя лента транспортера).

Низкое аэрозольное загрязнение атмосферы в 1920–40-е годы сменилось увеличением содержания аэрозолей в атмосфере в последующие годы. Это привело к снижению поступления солнечной радиации и снижению температуры воды в первую очередь субтропических широт, где влияние радиационных факторов более выражено из-за малой облачности. Увеличение градиента температур «экватор–субтропики» способствовало увеличению скорости пассатов, сгону теплых поверхностных вод и выходу на поверхность холодных глубинных вод. Этот процесс обеспечил замедление скорости роста температуры, начиная с середины 1940-х годов до конца 1960-х годов.

Пауза в изменении температуры совпала с увеличением скорости пассатных ветров в Атлантическом океане в это время [21]. В субтропическом районе Южной Атлантики теплое поверхностное течение подстилается холодными глубинными водами, что делает реальной реализацию предложенной схемы пространственных особенностей проявления влияния космических факторов как триггеров климатических изменений. Кроме того, эти проявления согласуются с особенностями мандрирования глобального термохалинного конвейера Брокера.

Сравнительный анализ изменения температуры воды со временем экспедиции «Челленджер» (1872–1876 гг.) до периода выполнения программы Argo (2004–2010 гг.) показал, что средневзвешенный рост температуры воды на поверхности Мирового океана составил $0,59 \pm 0,12^\circ\text{C}$ [22]. В среднем различия температуры составили $1,0 \pm 0,11^\circ\text{C}$ в Атлантическом океане и $0,41 \pm 0,09^\circ\text{C}$ в Тихом океане.

Реконструированные серии наблюдений с 1856 г. до настоящего времени указали на понижение температуры воды с 1880 до 1910 г. с последующим потеплением с 1910 г. С глубиной различие температур уменьшается от $0,39 \pm 0,18^\circ\text{C}$ на глубине 366 м до $0,12 \pm 0,07^\circ\text{C}$ на глубине 914 м и около 0°C на глубине 1500 м. В интервале глубин 0–700 м разница составляет $0,58 \pm 0,12^\circ\text{C}$ в Атлантике и $0,22 \pm 0,11^\circ\text{C}$ в Тихом океане. В верхнем 700-метровом слое рост температуры составил $0,33 \pm 0,14^\circ\text{C}$ в Атлантике и $0,22 \pm 0,11^\circ\text{C}$ в Тихом океане. С 1969 по 2009 г. глобальная температура в слое 0–700 м показала рост на $0,17^\circ\text{C}$. При этом Атлантический океан потеплел на $0,30^\circ\text{C}$, а Тихий океан – на $0,12^\circ\text{C}$. В то же самое время за весь период со временем экспедиции «Челленджер» (1872–1876 гг.) до программы Argo (2004–2010 гг.) температура увеличилась на $0,33 \pm 0,14^\circ\text{C}$. Это означает, что за последние 40 лет рост температуры составил половину от общего повышения температуры океана за 135-летний период (скорость роста температуры увеличилась в 2 раза).

Данные показывают, что потепление воды океанов началось в конце XIX или же в начале XX в., т. е. задолго до времени интенсивных выбросов парниковых газов в атмосферу (последние 30–40 лет). В этой связи уместно обратить внимание на неопределенность характера связей содержания парниковых газов в атмосфере и температуры Мирового океана за последние 135 лет. Рост температуры воды Мирового океана за период с 1912 по 1945 г. составил около $0,60^\circ\text{C}$; за подобный по длительности период с 1978 по 2012 г. он составил такую же величину. В то же самое время среднее радиационное воздействие углекислого газа за второй период (1978–2012 гг.) по сравнению с воздействием в первый период увеличилось в 6,7 раза. Это свидетельствует о том, что глобальное потепление началось задолго до существенного увеличения содержания парниковых газов в атмосфере, хотя скорость роста температуры в слое 0–700 м за последние 50 лет была несколько выше, чем в предыдущие 85 лет. Величина потепления на глубине 914 м составила всего $0,12 \pm 0,07^\circ\text{C}$ [22].

Известно, что глубинные воды Атлантического океана, достигнув $30\text{--}40^\circ$ ю. ш., поворачивают на восток, где сливаются с глубинным Антарктическим циркумполлярным течением. Течение Западных ветров является самым протяженным и мощным на Земле. Это поверхностное течение в Южном океане между 30 и 55° ю. ш. опоясывает Антарктиду, пересекая Атлантический, Индийский и Тихий океаны, где от него ответвляются холодные Бенгальское, Западно-Австралийское и Перуанско-Тихий океаны течения. Образовавшиеся сужения между Антарктидой и южными оконечностями Южной Америки и Австралии и поднятия дна океана способствуют ускорению течения, завихрениям и интенсивному перемешиванию вод океана в этих районах. Течения вызывают подъем холодных глубинных вод на поверхность океана. Перемешивание вод приводит к ускоренному теплообмену океана и атмосферы.

Все вышеперечисленное может свидетельствовать об огромной роли глобального термохалинского конвейера морской воды в формировании изменений климата Земного шара. Имеются

также основания считать, что регион Южной Атлантики с координатами $\phi = 26\text{--}36^\circ$ ю. ш., $\lambda = 20^\circ$ з. д. -5° в. д. является ключевым индикаторным районом для климата Северного полушария, поскольку от него с запаздыванием во времени переносится на север морскими течениями теплая вода, формирующая климатические условия не только в Европе. Этот район Мирового океана, по всей видимости, дает начало формированию крупнейшего автоколебательного процесса в климатической системе квазишестидесятилетней продолжительности.

Выявлено, что в Атлантическом секторе Земного шара доля дисперсии долгопериодных компонент (квазишестидесятилетних и квазитридцатилетних) от общей дисперсии рядов температуры воды больше, чем доля подобных компонент в Тихоокеанском и Индийском секторах, что, вероятно, связано с пространственной структурой большого термохалинного конвейера: в Атлантическом океане теплые воды проникают до семидесятых широт, тогда как в Тихом океане петля Брокера достигает только сороковых широт.

Выводы

1. Исследование пространственно-временных изменений температуры воды Мирового океана с использованием спектрально-сингулярного анализа (в русскоязычной литературе – «метода гусеницы») позволило выявить устойчивую во времени и пространстве квазишестидесятилетнюю компоненту в изменении температуры воды. Ее природа носит автоколебательный характер. Автоколебания в климатической системе могут происходить как с участием, так и без влияния внешних воздействий.

2. Атлантический сектор, где долгопериодные квазишестидесятилетние компоненты в изменении температуры воды имеют большую амплитуду, накладывает отпечаток и на климатические условия в Тихом океане. Совпадение в большинстве случаев фаз максимумов и минимумов квазишестидесятилетнего колебания в Атлантическом и Тихом океанах подтверждает это, одновременно указывая на ведущую роль Атлантического океана в формировании квазишестидесятилетнего колебания в климате Земного шара.

3. Степень и характер влияния космических факторов на температуру воды Мирового океана оказались более заметными в области действия холодных течений и локализации энергоактивных зон океана и атмосферы.

4. Показано, что квазишестидесятилетняя составляющая в изменении скорости движения Солнца относительно ЦМСС корреспондирует с температурой воды Атлантического океана. Фаза максимума квазишестидесятилетнего колебания этого космического фактора пройдена, и в ближайшие годы должно наступить снижение температуры воды в Атлантическом океане.

Кроме шестидесятилетней и трендовой компонент в изменении температуры воды с меньшей амплитудой обнаружены квазитридцатилетние, квазидвадцатилетние, квазиодинадцатилетние колебания, а также высокочастотные колебания (3–8 лет). Их пространственно-временные особенности проявляются в температуре воды Мирового океана и будут представлены в последующих работах.

Благодарности. Авторы выражают благодарность доктору физико-математических наук С. А. Лысенко за предоставление программы, реализующей алгоритмы спектрально-сингулярного анализа, и за обсуждение полученных результатов.

Список использованных источников

1. Космическая среда вокруг нас: введение в исследования околоземного космического пространства / Н. И. Будько [и др.] ; под ред. А. Н. Зайцева. – Троицк : ТРОВАНТ, 2006. – 231 с.
2. Климатология / А. А. Дроздов [и др.]. – Л. : Гидрометеоиздат, 1989. – 567 с.
3. Красовский, А. Н. Взаимодействие системы «атмосферный озон–климат» / А. Н. Красовский, Л. Н. Турышев // Наука и инновации. – 2011. – № 4 (98). – С. 14–16.
4. Богданов, М. Б. О возможности влияния движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы на изменение климата / М. Б. Богданов, А. Н. Сурков // Известия Саратовского университета, 2004. – Т. 4, вып. 1–2. – С. 146–148.
5. Михайлова, Н. И. Аномалии температуры и их связь с режимами космоса / Н. И. Михайлова // Тр. Укр. НИГМИ. – 1978. – № 169. – С. 90–100.
6. Изменения климата Арктики и Антарктики: результат действия естественных причин / Е. И. Фролов [и др.] // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2010. – № 2 (85). – С. 52–61.
7. Scafetta, N. A shared frequency set between the historical mid-latitude aurora records and the global surface temperature / N. Scafetta // J. Atmos. Sol. Ter. Phys. – 2012. – Vol. 74. – P. 145–163.
8. Логинов, В. Ф. Эффекты солнечной активности в стратосфере / В. Ф. Логинов, Л. Р. Ракипова, Г. И. Сухомазова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980. – 80 с.
9. Логинов, В. Ф. Современные изменения глобального и регионального климата / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко. – Минск : Беларуская навука, 2019. – 315 с.

10. Логинов, В. Ф. Изменения климата: тренды, циклы, паузы / В. Ф. Логинов, В. С. Микуцкий. – Минск : Беларуская навука, 2017. – 179 с.
11. Груза, Г. В. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха / Г. В. Груза, Э. Я. Ранькова. – М. : ИГКЭ, 2012. – 194 с.
12. Шулейкин, В. В. Физика моря / В. В. Шулейкин. – М. : Наука, 1968. – 1083 с.
13. Яковлева, Н. М. К вопросу о причинах квазипериодических колебаний климата / Н. М. Яковлева // Труды ГГО. – 1969. – Вып. 236. – С. 35–44.
14. Максимов, И. В. Геофизические силы и воды океана / И. В. Максимов. – Л. : Гидрометеоиздат, 1970. – 447 с.
15. Полонский, А. Б. Роль океана в изменениях климата / А. Б. Полонский. – Киев : Наукова думка, 2008. – 183 с.
16. Федоров, В. М. Инсоляция Земли и современные изменения климата / В. М. Федоров. – М. : Физматлит, 2018. – 232 с.
17. Голяндина, Н. Э. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов : учеб. пособие / Н. Э. Голяндина. – СПб., 2004. – 76 с.
18. Дзердзеевский, Б. Л. Сравнение главнейших закономерностей циркуляции атмосферы над Северным и Южным полушариями / Б. Л. Дзердзеевский // Информ. бюл. Советской Антарктической Экспедиции. – 1967. – № 65. – С. 58–68.
19. Энергоактивные зоны Северного полушария в приземном поле давления / Э. И. Гирская [и др.] // Труды ГГО. – 1985. – Вып. 486. – С. 84–88.
20. Шерстюков, Б. Г. Асинхронные дальние связи температуры воздуха в центральном регионе России с температурой поверхности Мирового океана / Б. Г. Шерстюков // Труды ВНИИГМИ-МЦД, 2019. – Вып. 184. – С. 67–79.
21. Логинов, В. Ф. Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата / В. Ф. Логинов. – Минск : Беларуская навука, 2012. – 266 с.
22. Roemmich, D. 135 years of global ocean warming between the Challenger expedition and the Argo Programme / D. Roemmich, W. J. Gould, J. Gilson // Nature climate Change. – 2012. – doi:10.1038/nclimate1461

R e f e r e n c e s

1. Bud'ko N. I. et al. *Kosmicheskaiia sreda vokrug nas: vvedenie v issledovaniia okolozemnogo kosmicheskogo prostranstva* [The space environment around us: introduction to near-Earth space research]. Troitsk, 2006, 231 p. (in Russian)
2. Drozgov A. A. et al. *Klimatologija* [Climatology]. Leningrad, Hydrometeoizdat Publ., 1989, 567 p. (in Russian)
3. Krasovskii A. N., Turyshev L. N. *Vzaimodeistvie sistemy «atmosfernyi ozon–klimat»* [The interaction of system “Atmospheric ozone-climate”]. Nauka i innovatsii = Science and innovation, 2011, no. 4 (98), pp. 14–16 (in Russian)
4. Bogdanov M. B., Surkov A. N. *O vozmozhnosti vlijaniiia dvizheniiia Solntsa otnositel'no tsentra mass Solnechnoi sistemy na izmenenie klimata* [On the possibility of the influence of the motion of the sun relative to the center of mass of the solar system on climate change]. *Izvestiia Saratovskogo universiteta = News of Saratov University*, 2004, vol. 4, no. 1–2, pp. 146–148. (in Russian)
5. Mikhailova N. I. *Anomalii temperatury i ikh sviaz' s rezhimami kosmosa* [Temperature anomalies and their relation to space regimes]. *Trudy Ukrainskogo nauchno-issledovatel'skogo gidrometeorologicheskogo instituta* [Proc. of the Ukrainian Research Hydrometeorological Institute], 1978, no. 169, pp. 90–100. (in Russian)
6. Frolov E. I. i dr. *Izmeneniiia klimata Arkтики i Antarktiki: rezul'tat deistviia estestvennykh prichin* [Climate change in the Arctic and Antarctic: the result of natural causes]. *Problemy Arktiki i Antarktiki = Problems of the Arctic and Antarctic*, 2010, no. 2 (85), pp. 52–61. (in Russian)
7. Scafetta N. A shared frequency set between the historical mid-latitude aurora records and the global surface temperature. *J. Atmos. Sol. Ter. Phys.*, 2012, vol. 74, pp. 145–163.
8. Loginov V. F., Rakipova L. R., Sukhomazova G. I. *Efekty solnechnoi aktivnosti v stratosfere* [The effects of solar activity in the stratosphere]. Leningrad, Hydrometeoizdat publ., 1980, 80 p. (in Russian)
9. Loginov V. F., Lysenko S. A. *Sovremennye izmeneniiia global'nogo i regional'nogo klimata* [Current changes in global and regional climate]. Minsk, «Belaruskaia navuka», 2019, 315 p. (in Russian)
10. Loginov V. F., Mikutsky V. S. *Izmenenija klimata: trendy, cikly, pauzy* [Climate change: trends, cycles, pauses]. Minsk, «Belaruskaia navuka», 2017, 179 p. (in Russian)
11. Gruza G. V., Rankova E. Ya. *Nabliudaemye i ozhidaemye izmeneniiia klimata Rossii: temperatura vozdukh* [Observed and expected climate changes in Russia: air temperature]. Moscow, Institute of Global Climate and Ecology, 2012, 194 p. (in Russian)
12. Shuleikin V. V. *Fizika moria* [Physics of the sea]. Moscow, 1968, 1083 p. (in Russian)
13. Iakovleva N. I. *K voprosu o prichinakh kvaziperiodicheskikh kolebanii klimata* [On the cause of quasi-periodic climate fluctuations]. *Trudy Glavnogo geofizicheskogo observatorii* [Proc. of the Main geophysical Observatory], 1969, no. 236, pp. 35–44. (in Russian)
14. Maksimov N. V. *Geofizicheskie sily i vody okeana* [Geophysical forces and ocean waters]. Leningrad: Hydrometeoizdat Publ., 1970, 447 p. (in Russian)
15. Polonskii A. B. *Rol' okeana v izmeneniiakh klimata* [The role of the ocean in climate change]. Kiev, 2008, 183 p. (in Russian)
16. Fedorov V. M. *Insoliatsiia Zemli i sovremenkiye izmeneniiia klimata* [Earth Insolation and Modern Climate Change]. Moscow, Fizmatlit, 2018, 232 p. (in Russian)

17. Goliandina N. E. *Metod «Gusenitsa»-SSA: analiz vremennyykh riadov : uchebnoe posobie* [Method of «Caterpillar»-SSA: time series analysis: textbook]. St. Petersburg, 2004, 76 p. (in Russian)
18. Dzerdzevskii B. L. *Sravnenie glavneshikh zakonomernosteit tsirkuliatsii atmosfery nad Severnym i luzhnym polushariami* [Comparison of the main patterns of atmospheric circulation over the Northern and Southern Hemispheres]. *Inform. biul. Sovetskoi Antarkticheskoi Ekspeditsii = Soviet Antarctic Expedition Newsletter*, 1967, no. 65, pp. 58–68. (in Russian)
19. Girskaia E. I. et al. *Energoaktivnye zony Severnogo polushariia v prizemnom pole davleniia* [Energy-active zones of the Northern hemisphere in the surface pressure field]. *Trudy GGO [Proc. of the Main Geophysical Observatory]*, 1985, no. 486, pp. 84–88. (in Russian)
20. Sherstyukov B. G. *Asinkhronnye dal'nie sviazi temperatury vozdukha v tsentral'nom regione Rossii s temperaturoi poverkhnosti Mirovogo okeana* [Asynchronous long-distance relationships of air temperature in the central region of Russia with the surface temperature of the oceans]. *Trudy VNIIIGMI-MTsD [Proc. of the All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center]*, 2019, no. 184, pp. 67–7. (in Russian)
21. Loginov V. F. *Radiatsionnye faktory i dokazatel'naia baza sovremennykh izmenenii klimata* [Radiation factors and the evidence base of modern climate change]. Minsk, 2012, 266 p. (in Russian)
22. Roemmich D., Gould W. J., Gilson J. 135 years of global ocean warming between the Challenger expedition and the Argo Programme. *Nature climate Change*, 2012. doi:10.1038/nclimate1461

Информация об авторах

Логинов Владимир Федорович – академик, доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

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

Микуцкий Владимир Станиславович – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

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., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by

Yuliya A. Brovka – Ph. D. (Geography), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: brovka.yuliya@mail.ru

Vladimir S. Mikutsky – Ph. D. (Physical and Mathematical), Leading Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by

ВЗАИМОСВЯЗЬ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ИСПАРЕНИЯ И КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ В ЮЖНЫХ РЕГИОНАХ БЕЛАРУСИ

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

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. Приведены численные оценки пространственного распределения атмосферных осадков, выпадающих в отдельные месяцы вегетационного периода за счет испарения с территории Брестской и Гомельской областей Беларуси. Показано, что местное испарение увеличивает количество осадков в Гомельской области с апреля по май на 5–10 %, в июне – на 5–8, с июля по сентябрь – не более чем на 5 %. Влага, испаряющаяся с территории Брестской области за счет западного переноса воздуха, увеличивает количество осадков на западе Гомельской области на 2–4 %. Проанализированы тенденции изменения количества осадков на территории Беларуси и их связь с глобальными и региональными климатическими факторами. Показано, что в мае суммарное количество осадков возрастает с начала 1980-х годов на всей территории Беларуси, но наиболее значимым образом – в восточных регионах страны, где в результате потепления воздуха увеличивается поступление влаги, с остальной части Беларуси. В июле статистически значимый рост количества осадков отмечается только в южных районах Беларуси, который связан активизацией там процессов образования конвективной облачности в результате потепления. В июне и августе количество осадков на территории Беларуси снижается вследствие глобальных изменений атмосферной циркуляции. Уменьшение испарения на территории Гомельской области после осушительной мелиорации во второй половине прошлого века повлияло на наблюдаемую скорость снижения количества осадков в июне не более чем на 10 %.

Ключевые слова: испарение; осадки; мелиорация; изменение климата.

Для цитирования. Лысенко С. А., Логинов В. Ф., Бондаренко Ю. А. Взаимосвязь современных изменений испарения и количества осадков в южных регионах Беларуси // Природопользование. – 2020. – № 1. – С. 20–29.

RELATIONSHIP OF MODERN CHANGES IN EVAPORATION AND NUMBER OF PRECIPITATION IN THE SOUTHERN REGIONS OF BELARUS

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

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

Abstract. Numerical estimates of the spatial distribution of precipitation falling in certain months of the growing season due to evaporation from the territories of the Brest and Gomel regions of Belarus are presented. It is shown that local evaporation increases the amount of precipitation in the Gomel region from April to May by 5–10 %, in June – by 5–8, from July to September – by no more than 5 %. Moisture evaporating from the territory of the Brest region due to western air transport increases the amount of precipitation in the west of the Gomel region by 2–4 %. The trends in the amount of precipitation in the territory of Belarus and their relationship with global and regional climatic factors are analyzed. It was shown that in May, the total amount of precipitation has been increasing since the beginning of the 1980s throughout Belarus, but in the most significant way – in the eastern regions of the country, where as a result of air warming, the moisture content of the territory from the rest of Belarus increases. In July, a statistically significant increase in precipitation was observed only in the southern regions of Belarus, and was probably due to the activation of convective cloud formation there as a result of warming. In June and August, the amount of precipitation in Belarus decreases due to global changes in atmospheric circulation. The decrease in evaporation in the Gomel region after drainage reclamation in the second half of the last century did not affect the observed rate of decrease in rainfall in June by more than 10 %.

Keywords: evaporation; precipitation; land reclamation; climate change.

Для цитирования. Lysenko S. A., Loginov V. F., Bondarenko Yu. A. Relationship of modern changes in evaporation and number of precipitation in the southern regions of Belarus. *Nature Management*, 2020, no. 1, pp. 20–29.

Введение. В последние десятилетия на территории Земного шара в целом и Беларуси в частности отмечается выраженная тенденция к потеплению климата, обусловленная в первую очередь глобальными процессами [1, 2]. Однако, несмотря на благоприятные общие тенденции изменения теплообеспеченности территории Беларуси, на мелиорированных торфяных почвах отмечаются более экстремальные условия для возделывания сельскохозяйственных культур, чем в остальной части Беларуси (по продолжительности и интенсивности заморозков, повторяемости зим с низкими темпе-

ратурами и малой высотой снежного покрова, продолжительности периодов с высокой температурой воздуха и т. д.) [3].

Мелиорация в Полесье ощутимым образом повлияла на физические характеристики подстилающей поверхности (шероховатость, тепловую инерцию, влагоемкость и др.), что не могло не отразиться на микроклимате и в первую очередь на режиме увлажненности мелиорированных территорий. Однако рост температуры в современный период так же способствует росту испарения с подстилающей поверхности и влагосодержания атмосферы, что усиливает развитие конвективной облачности. В результате конденсации влаги в атмосфере выделяется дополнительная энергия, способствующая увеличению повторяемости ураганов, шквалов, ливневых осадков и других опасных явлений, рост повторяемости которых действительно наблюдается в последние десятилетия [4, 5].

Следует отметить, что степень влияния мелиорации на климат невозможно оценить лишь на основании данных метеорологических наблюдений в регионе мелиорации, поскольку наблюдаемые изменения регионального климата во многом формируются под влиянием глобальных процессов. В связи с этим для выделения вклада местных факторов в межгодовую изменчивость и долгопериодные изменения регионального климата приходится прибегать к данным компьютерного моделирования климатических процессов. При этом нельзя сбрасывать со счета и проблему используемых при анализе данных. В частности тенденции изменений осадков на некоторых метеостанциях могут частично формироваться под влиянием скорости ветра, сказывающегося на показаниях измерителей осадков открытого типа, а также вследствие переноса станций с одной местности на другую. В некоторых случаях «локальные» причины изменения осадков могут быть соизмеримы со средними величинами их изменений в результате современного потепления климата. Еще более существенные неопределенности в оценках роли местного испарения на влагооборот в атмосфере могут возникать при использовании данных реанализов, которые имеют гораздо более грубое пространственное разрешение, чем данные метеонаблюдений и в значительной мере построены на расчетах моделей общей циркуляции атмосферы и океана. Таким образом, уже только вопросы достоверности данных делают определение причин изменения составляющих водного баланса атмосферы (испарения с подстилающей поверхности, осадков, турбулентного влагопереноса) крайне сложным и не всегда возможным.

В настоящей статье представлены численные оценки влияния местного испарения на средние значения и долгопериодные изменения количества осадков в Беларуси. Установлены тенденции в изменении количества осадков на территории Беларуси и проанализированы их связи с глобальными и региональными климатическими факторами. Оценено влияние южных областей Беларуси (Брестской и Гомельской) на поля осадков в отдельные месяцы вегетационного периода. Разделены вклады местного испарения и глобальных факторов в тенденции изменения количества осадков на территории Беларуси.

Методы исследования. Оценки влияния испарения с подстилающей поверхности на региональный влагооборот атмосферы основывались на решении уравнения водного баланса в предположении стационарности содержания влаги в столбе атмосферы при месячном интервале усреднения. Уравнение водного баланса атмосферы записывается отдельно для влаги, образованной в рассматриваемом регионе (индекс r) и влаги, занесенной в него извне (индекс a). Дополнительно предполагается, что интегральные содержания в атмосфере водяного пара различного происхождения пропорциональны соответствующим им скоростям выпадения осадков и горизонтальным потокам влаги на границах региона. Используемые предположения позволяют выразить долю осадков, выпадающих в некоторой пространственной ячейке с координатами (x, y) из влаги, испарившейся со всей площади исследуемого региона [6,7]:

$$\rho(x, y) = \frac{Q_r^{in}(x, y) + \delta(x, y)E(x, y)\Delta A(x, y)}{Q_r^{in}(x, y) + Q_a^{in}(x, y) + E(x, y)\Delta A(x, y)}, \quad (1)$$

где ΔA – площадь ячейки; Q_r^{in} и Q_a^{in} – потоки влаги, поступающей в ячейку за счет испарения в исследуемом регионе и за его пределами; E – испарение с подстилающей поверхности внутри самой ячейки, δ – безразмерный множитель, равный единице, если ячейка находится внутри исследуемого региона, и нулю в противном случае.

При пространственной дискретизации территории потоки влаги, поступающей из разных направлений в заданную пространственную ячейку, совпадают с потоками влаги, выходящей в этих же направлениях из смежных ячеек. Влага, выходящая из каждой ячейки, включает компоненту, образованную в исследуемом регионе и за его пределами. Эти компоненты можно рассчитать, зная общий поток, выходящий из ячейки влаги, и функцию распределения $\rho(x, y)$:

$$Q_r^{out}(x, y) = Q^{out}(x, y)\rho(x, y), \quad Q_a^{out}(x, y) = Q^{out}(x, y)(1 - \rho(x, y)). \quad \text{Поскольку распределение } \rho(x, y)$$

неизвестно и само по себе подлежит установлению, то для вычисления всех составляющих влагооборота атмосферы используется итерационный алгоритм решения системы приведенных выше уравнений для всей дискретизируемой области.

Испарение с подстилающей поверхности и потоки влаги в широтном и меридиональном направлениях взяты из базы данных ERA5 – реанализа Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды последнего поколения. Данный реанализ отличается более высокой временной (3 часа) и пространственной (~31 км) детальностью метеорологических полей по сравнению с другими современными реанализами. В расчетах влагооборота атмосферы использованы среднемесячные данные ERA5, что позволило с достаточной степенью уверенности пренебречь временными вариациями содержания влаги в столбе атмосферы по сравнению с вариациями потоков горизонтального влагопереноса. Статистические оценки функции распределения (1) для отдельных месяцев вегетационного периода получены на основе всего доступного ряда данных ERA5 (с 1979 г. по настоящее время).

Для исследования тенденций изменения составляющих влагооборота атмосферы на более длительном временном интервале (с 1948 г.) использован реанализ NCEP Национального центра прогнозов окружающей среды США. Однако, учитывая грубое пространственное разрешение метеорологических полей, представленных реанализом NCEP (около 2,5° по широте и долготе местности), соответствующие ему данные использованы лишь для анализа крупномасштабных изменений климата.

Пространственные распределения линейных трендов количества осадков на территории Беларуси рассчитаны на основе сеточного архива метеорологических данных, разработанного в Институте природопользования НАН Беларуси [8]. Данный архив содержит цифровое описание полей температуры воздуха и количества осадков в период с 1945 по 2019 г. с пространственным разрешением 0,05° по долготе и широте местности. Пространственно-временные распределения метеорологических полей в разработанном архиве построены методом оптимальной статистической интерполяции данных метеорологических наблюдений на территории Беларуси и соседних государств.

Результаты. В первую очередь рассмотрим, как испарение с территорий южных (Брестской и Гомельской) областей Беларуси способно повлиять на режим выпадения осадков в этих областях и на прилегающих к ним территориях.

Количество осадков в процентах от нормы, образующихся за счет испарения с территории Гомельской области в вегетационный период (апрель–сентябрь), приведено на рис. 1. В апреле–июне влага местного происхождения способствует увеличению осадков в Гомельской области на 3–10 %, причем распределение соответствующих осадков вытянуто в направлении преобладающего переноса воздуха (больше на северо-востоке, меньше на юго-западе). В сопредельных регионах увеличение количества осадков составляет менее 3 %. В июле–сентябре вклад местного испарения в количество выпадающих осадков не превышает 5 %, причем наибольшее количество осадков местного происхождения в соответствии с направлением преобладающей адвекции (горизонтального переноса) воздуха выпадает в восточной части Гомельской области.

Несколько меньшие величины осадков из влаги местного происхождения присущи для территории Брестской области. В апреле–июне они составляют 5–8 % от нормы для центральной и северо-восточной частей Брестской области. На сопредельных северо-восточных территориях количество осадков увеличивается на 3–5 %. В июле–сентябре только на востоке области увеличение количества осадков за счет местного испарения достигает величин около 5 %.

Сопоставим наблюдаемые изменения гидрологических условий на юге Беларуси с глобальными изменениями климата. Особого внимания заслуживает анализ среднесуточного количества осадков и среднесуточного испарения с подстилающей поверхности в Гомельской области и ее окрестностях (квадрат 51,0–53,5° с. ш. и 27,0–32,0° в. д.) за периоды до мелиорации (1945–1965 гг.), во время интенсивной мелиорации (1965–1985 гг.) и после мелиорации (с 1985 г. по настоящее время). Соответствующие временные ряды, полученные на основе данных реанализа NCEP для первого летнего месяца, когда происходят активная вегетация и формирование урожая сельскохозяйственных культур, приведены на рис. 2. Видно, что с 1948 г. и примерно до окончания мелиоративных работ в Полесье испарение с подстилающей поверхности и количество осадков в рассматриваемом регионе медленно возрастали (примерно с одинаковой скоростью – около 0,1 мм за 10 лет). В период после мелиорации (с 1985 г.), примерно совпадающий с периодом современного потепления в Беларуси, как испарение, так и количество осадков на рассматриваемой территории начали заметно уменьшаться, однако скорость уменьшения количества осадков более чем в 4 раза превышала скорость уменьшения испарения. Такое значительное превышение тренда осадков над трендом испарения свидетельствует о том, что уменьшение испарения с подстилающей поверхности является не причиной, а следствием уменьшения количества осадков в рассматриваемом регионе. Более медленное уменьшение испарения по сравнению с уменьшением количества осадков, вероятно, обусловлено влиянием на испарение других метеорологических факторов. Главным фактором, определяющим фактическое и потенциальное испарение, является температура воздуха. Средняя на территории Беларуси температура воздуха в июне с 1980 г. выросла приблизительно на 1,7 °C, что, безусловно, способствовало росту испарения.

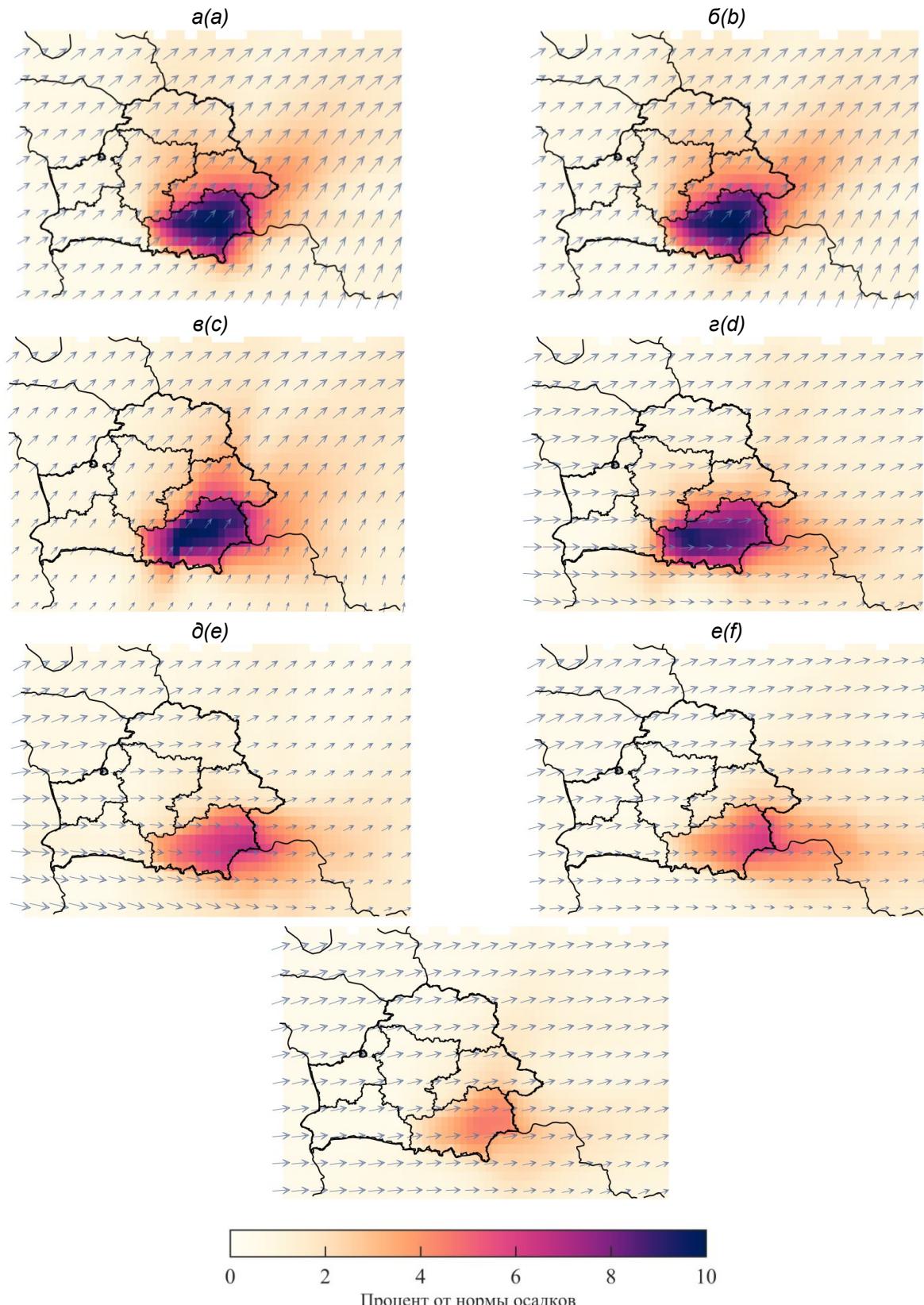


Рис. 1. Доля осадков (в процентах от нормы), образующихся за счет испарения с территории Гомельской области в апреле (а), мае (б), июне (в), июле (г), августе (д) и сентябре (е)

Fig. 1. The fraction of precipitation as a percentage of the norm, formed due to evaporation from the territory of the Gomel region in April (a), May (b), June (c), July (d), August (e) and September (f)

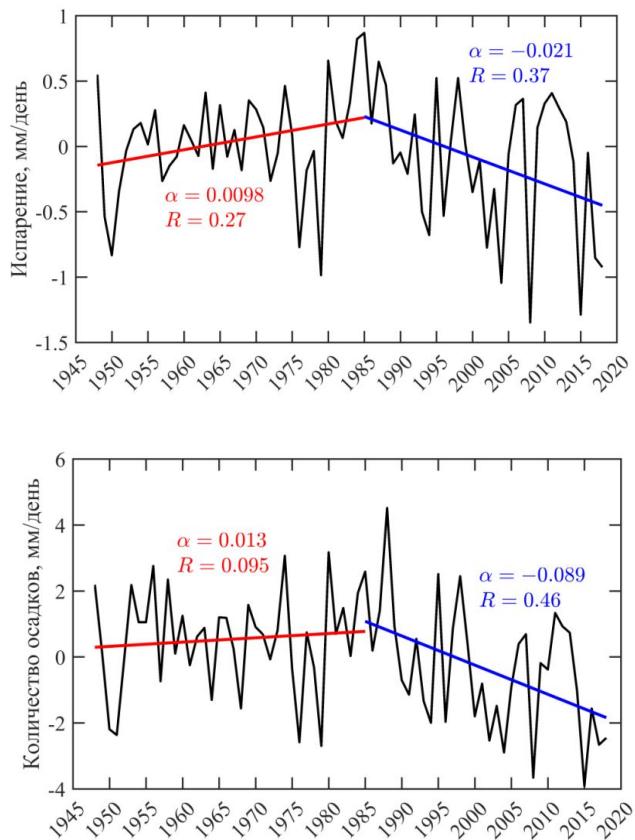


Рис. 2. Изменение среднесуточного испарения с подстилающей поверхности и среднесуточного количества осадков в регионе Гомельской области и ее окрестностях, ограниченных координатами 51,0° и 53,5° с. ш., 27,0° и 32,0° в. д. Линии – тренды величин в периоды 1948–1985 гг. и 1985–2018 гг., а – коэффициент наклона линейного тренда, R – коэффициент корреляции тренда с исходными данными

Fig. 2. Time series of average daily evaporation from the underlying surface and average daily rainfall in the region of the Gomel region and its environs, limited by coordinates 51,0° and 53,5° N, 2,07 ° and 32,0° E. Lines – Trends of Values in the Periods of 1948–1985 and 1985–2018, а – coefficient of the slope of the linear trend, R – coefficient of correlation of the trend with the source data

Стоит заметить, что снижение количества осадков в июне с 1985 г. характерно не только для Гомельской области, но и в целом для Беларуси, а также для территорий соседних государств. Данные реанализа NCEP показывают, что с 1985 г. на большей части восточной Европы происходит снижение содержания водяного пара в атмосфере. Снижение доступной влаги в атмосфере ограничивает формирование облаков и выпадение осадков, что также отмечается на большей части Европы [8]. Эти выводы подтверждаются также и данными реанализа ERA5 (рис. 3).

Тренд количества осадков, выпадающих в июне на территории Беларуси и соседних государств в результате испарения с территории Гомельской области, сопоставлен с фактическим трендом осадков на рис. 3. Видно, что лишь на юге Беларуси и северо-западе Украины тренд осадков, вызванный снижением испарения в Гомельской области, достигает величин около $-0,2\%$ в год, при том, что его фактические значения на порядок больше. Эти результаты подтверждают, что современные изменения количества осадков на территории Беларуси в июне вызваны крупномасштабными изменениями атмосферной циркуляции и не связаны с последствиями осушительной мелиорации в Полесье. Фактором уменьшения испарения на территории Гомельской области после осушительной мелиорации можно объяснить не более 10 % наблюдавшегося там снижения количества осадков в июне.

Анализ трендов среднемесячных сумм осадков на территории Беларуси. С учетом представленных выше сведений о влиянии местного испарения и глобальных факторов на количество осадков в Беларуси попытаемся объяснить причины их пространственно-временных изменений в вегетационный период.

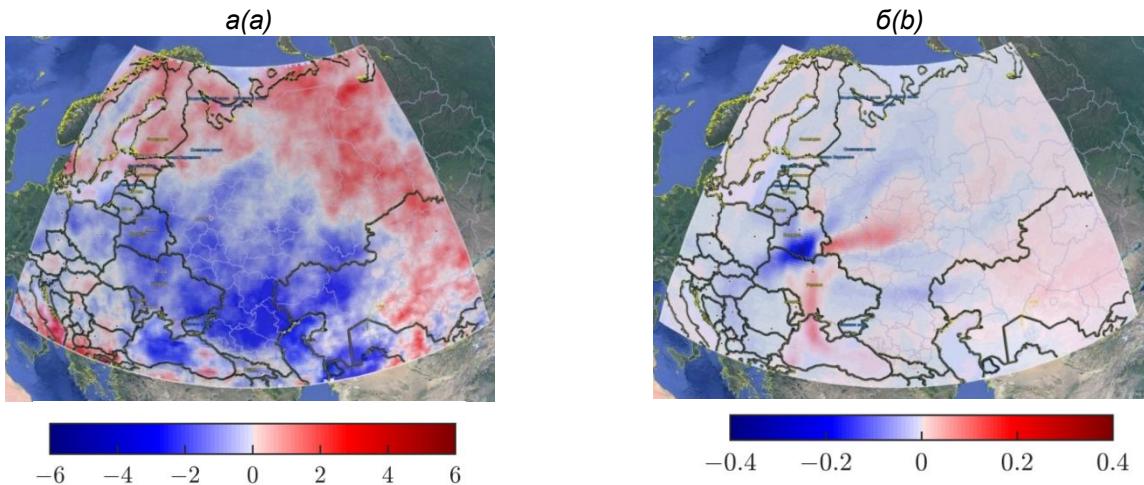


Рис. 3. Пространственное распределение тренда суммы осадков в июне (в процентах от нормы) за период 1985–2018 гг. (а) и величина этого тренда, связанная с снижением испарения с территории Гомельской области (б)

Fig. 3. The spatial distribution of the trend of precipitation in June (as a percentage of the norm) for the period 1985–2018 (a) and the magnitude of this trend, associated with a decrease in evaporation from the territory of the Gomel region (b)

В Беларуси статистически значимые тренды количества осадков наблюдаются только в наиболее теплые месяцы вегетационного периода (май–август), причем с чередованием знака: в мае и июле тренд положительный, в июне и августе – отрицательный. В июле и августе систематическое изменение количества осадков обнаруживается во всем доступном ряду метеоданных с 1945 г., в мае и июне – примерно с 1980 г. Наибольшая скорость изменения количества осадков наблюдается в июне ($-0,77$ мм/год), далее в порядке убывания ее абсолютной величины идут май (0,54), июль (0,32) и август ($-0,3$ мм/год).

Распределения линейного тренда осадков по территории Беларуси в указанные месяцы представлены на рис. 4. Точками на этих рисунках обозначены районы, в которых тренд количества осадков статистически значимый с доверительной вероятностью больше 90 % по *t*-критерию Стьюдента.

Суммарное количество осадков в мае возрастает на всей территории Беларуси, однако наибольший их рост, отвечающий критериям статистической значимости, отмечается только в восточной части Беларуси (с максимумом 1,2 мм/год). Среди областей Беларуси наибольшая скорость роста количества осадков в мае наблюдается в Могилевской области (0,76 мм/год). На втором месте по значимости располагается Гомельская область (0,67 мм/год).

Тенденция увеличения количества осадков в мае, характерная для Беларуси, не проявляется в континентальных масштабах. Не исключено, что эта тенденция может быть вызвана ростом местного испарения вследствие потепления. Наличие достаточных запасов почвенной влаги в мае наряду с быстрым ростом температуры воздуха и почвы способствует росту фактического и потенциального испарения на всей территории Беларуси, а преобладающий юго-западный перенос воздуха в мае обуславливает наибольшее выпадение этой влаги в виде осадков именно в Могилевской области [7].

Ситуация с изменением количества осадков в июне практически противоположна той, что отмечается для мая. Количество июньских осадков убывает на всей территории Беларуси, причем более чем на половине этой территории снижение осадков отвечает критерию статистической значимости с доверительной вероятностью, превышающей 90 %. К области достоверного снижения осадков относятся все области Беларуси, за исключением Гродненской и Брестской. В отдельных районах Гомельской, Витебской и Минской областей скорость снижения осадков достигает величины – 1,2 мм/год.

Как было показано выше, неблагоприятные тенденции уменьшения количества осадков в июне не являются уникальной особенностью Беларуси – они отмечаются на большей части Европы. Это говорит о том, что эти тенденции не связаны с какими-либо локальными особенностями землепользования или природного ландшафта, а являются следствием глобальных изменений климата.

Тенденции изменения количества осадков в июле и августе схожи по абсолютной величине и по территориальному распределению, но противоположны по знаку. Статистически значимые тенденции присущи только для южной части Беларуси, где отмечаются наибольшие темпы летнего потепления.

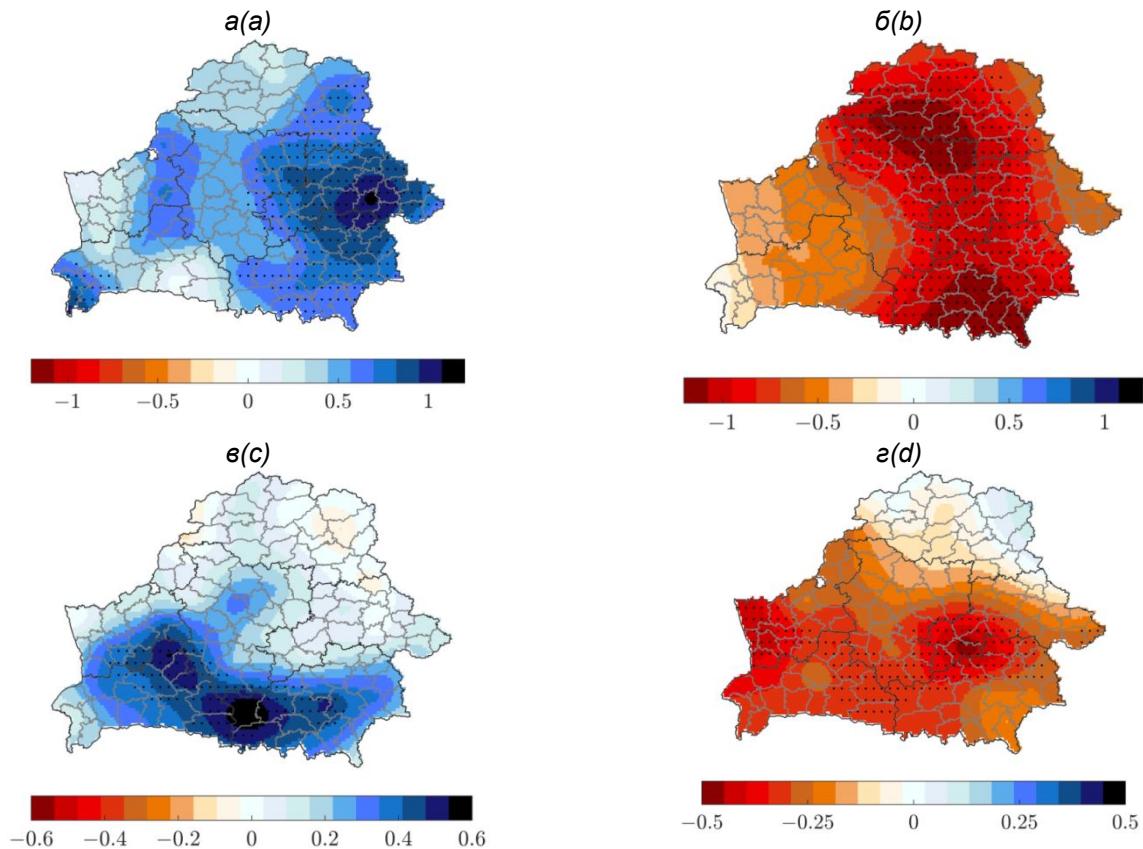


Рис. 4. Скорости изменения суммарного количества осадков (мм/год) на территории Беларуси в мае (а) и июне (б) с 1980 г., июле (в) и августе (г) с 1945 г.

Fig. 4. The rate of change in the total amount of precipitation (mm/year) in Belarus in May (a) and June (b) from 1980, July (c) and August (d) from 1945

Июль – самый теплый месяц года в Беларуси. В этом месяце потенциальное и фактическое испарения в атмосферу достигают максимальных значений, что способствует конвекции влаги и, как следствие, выпадению осадков. Такой тип связи температуры и осадков характерен для тропических широт, где за счет развитого турбулентного слоя над теплой поверхностью океана образуется мощная конвективная облачность. В Беларуси такого рода связи температуры и осадков могут возникать лишь в самые теплые месяцы года и в самых южных районах страны.

Стоит заметить, что конденсация влаги в атмосфере при образовании конвективной облачности сопровождается выделением дополнительной энергии, способной идти на формирование ураганов, шквалов, ливневых осадков и других опасных явлений, рост повторяемости которых действительно наблюдается в последние десятилетия [4, 5]. Так, например, количество дней с ливневыми осадками в вегетационный период (апрель–сентябрь) в расчете на одну метеорологическую станцию за период 1988–2012 гг. увеличилось на 10,5 % по сравнению с предыдущим периодом – 1975–1987 гг. Одновременно с этим произошло и увеличение количества гроз, что также подтверждает интенсификацию конвективных движений в атмосфере. Таким образом, не исключено, что увеличение количества июльских осадков в южных районах Беларуси связано именно с увеличением доли ливневых осадков, которые быстро теряются в виде поверхностного стока и, как правило, не способствуют обеспечению растений продуктивной влагой. Данный вывод подтверждается локализацией максимальных значений тренда июльских осадков в Житковичском районе Гомельской области (см. рис. 4, е), где действительно отмечается самое большое для Беларуси число дней с ливнями в теплый период года (март–октябрь).

Изучение количества гроз на территории Беларуси за период 1975–2012 гг. показало, что наиболее часто грозы наблюдаются на метеорологической станции Житковичи, что, вероятно, связано с большой лесистостью территории (55 %) и повышенной турбулентностью в данном районе, способствующей усилению конвекции в атмосфере. Академик А. И. Кайгородов, отмечая увеличение осадков в долине Припяти в весенне-летние месяцы, объяснял его подъемом приходящих воздушных масс по так называемой поверхности подъема, образующейся под влиянием отрыва высокого давления Азорского антициклона. Не последнюю роль в этом процессе играет и подпитка приходящих воз-

душных масс влагой, испаряющейся с поверхности болот, крупного озера Червоное площадью 44 км² и каскада более мелких озер, расположенных на расстоянии менее 20 км от г. Житковичи, что в совокупности с высокой лесистостью территории в Житковичском районе увеличивает турбулентность атмосферы и количество гроз по сравнению с соседними станциями.

В августе количество осадков на территории Беларуси медленно снижается как минимум с 1945 г. примерно на –0,3 мм за год (см. рис. 4, г). Наиболее быстро этот процесс идет в южной и центральной частях Беларуси, а в Витебской области количество осадков в августе практически не изменяется. Максимальная скорость снижения количества осадков в августе (около –0,5 мм/год) отмечается в Бобруйском районе. Как и в июне, данная тенденция характерна не только для Беларуси, но и в целом для Европы, т. е. связана с крупномасштабными климатическими процессами.

Заключение. Анализ трендов количества осадков в Республике Беларусь в отдельные месяцы вегетационного периода показывает наличие статистически значимых тенденций только для наиболее теплых месяцев: май–август.

В мае количество осадков возрастает примерно с 1980 г. на всей территории Беларуси, но наиболее значимо в восточной части страны с максимальным трендом около 1,2 мм/год. В апреле–мае испарение с подстилающей поверхности вносит максимальный вклад в количество выпадающих осадков. Воздушные потоки, идущие весной над территорией Беларуси преимущественно в северо-восточном направлении, обогащаются влагой за счет местного испарения и приносят дополнительные осадки на северо-восток Минской, северо-запад Могилевской и юго-восток Витебской областей [7]. В этих регионах влага, испаряющаяся с остальной территории Беларуси, увеличивает количество осадков в среднем на 15–20 %.

В связи с отмеченными особенностями атмосферной циркуляции в весенние месяцы режим выпадения осадков в Гомельской области практически не подвержен влиянию испарения с территории других областей Беларуси. Вклад местного испарения в количество весенних осадков на территории Гомельской области составляет 5–10 %, причем распределение соответствующих осадков вытянуто в направлении преобладающего переноса воздуха (больше на северо-востоке, меньше на юго-западе). Рост температуры воздуха и почвы в последние десятилетия увеличивает фактическое и потенциальное испарение, а вместе с этим и количество осадков за счет местного испарения, что, вероятно, и обуславливает наблюдаемый рост количества майских осадков.

В июне суммарное количество осадков в Беларуси снижается с начала 1980-х годов примерно на 0,77 мм за год. Наиболее высокие темпы снижения количества осадков отмечаются в Гомельской, Минской и Витебской областях, а также в западной части Могилевской области (местами до –1,2 мм/год). Эти тенденции не связаны с какими-либо особенностями местного ландшафта или землепользования, а вызваны крупномасштабными климатическими процессами: уменьшением содержания водяного пара и облачности на территории Европы. С июня по сентябрь, когда адвекция в Беларуси происходит преимущественно с запада на восток, увеличению количества осадков на западе Гомельской области также способствует влага, выносимая воздушными потоками из Брестской области (эффект на уровне 2–4 %).

В июле в южных районах Беларуси наблюдается рост количества осадков. Рост осадков в самый теплый месяц года в южных регионах, по всей вероятности, связан с развитием конвективной облачности и выпадением ливневых осадков. Однако такие осадки быстро теряются в виде поверхностного стока и не обеспечивают в достаточной мере растения продуктивной влагой. Кроме того, конденсация влаги в атмосфере при образовании конвективной облачности сопровождается выделением дополнительной энергии, способной идти на формирование ураганов, шквалов, ливневых осадков и других опасных явлений, рост повторяемости которых наблюдается в последние десятилетия. Данный вывод подтверждается локализацией максимальных значений тренда июльских осадков в Житковичском районе Гомельской области, где отмечается самое большое для Беларуси число дней с ливнями и увеличение количества гроз в теплый период года.

Количество осадков на территории Беларуси в августе медленно снижается как минимум с 1945 г. примерно на –0,3 мм за год. Наиболее быстро этот процесс развивается в южной и центральной частях Беларуси, а в Витебской области количество осадков в августе практически не изменяется. Максимальная скорость снижения количества осадков в августе отмечается в Бобруйском районе (–0,5 мм/год). Тенденция снижения количества осадков в августе характерна не только для Беларуси, но и в целом для Европы, т. е. определяется крупномасштабными процессами в климатической системе.

Осушительная мелиорация земель в Полесье во второй половине прошлого века не изменила существенным образом суммарное испарение в масштабах всей Гомельской области. Значимое уменьшение испарения на территории Гомельской области в июне началось уже после проведения основных мелиоративных работ (примерно с 1985 г.). Однако это является не причиной, а следствием

снижения количества июльских осадков, тренд которого в 4 раза превышает тренд испарения с территории Гомельской области. Снижение испарения с территории Гомельской области потенциально может обуславливать не более 10 % наблюдаемого тренда количества июньских осадков.

Список использованных источников

- Логинов, В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: доказательная база и международные соглашения по защите климата / В. Ф. Логинов. – Минск : Институт природопользования НАН Беларуси, 2018. – 102 с.
- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / T. F. Stoker [et al.] (eds.). – Cambridge : Cambridge Univ. Press, 2013. – 222 р.
- Мельник, В. И. Современные изменения климата на мелиорированных торфяных почвах Белорусского Полесья / В. И. Мельник, Е. В. Комаровская, С. М. Кравцова // Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця : зб. навук. прац VIII Міжнар. навук. канф. «Прыроднае асяроддзе Палесся і навукова-практычныя аспекты рацыянальнага рэсурсакарыстання», Брэст, 12–14 верас. 2018 г. / Нацыянальная акадэмія навук Беларусі, Палескі аграрна-экологічны інстытут. – Брэст : Альтэрнатыва, 2018. – Вып. 11. – С. 74–77.
- Логинов, В. Ф. Опасные метеорологические явления на территории Беларусь / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, И. Н. Шпока. – Минск : Беларуская навука, 2010. – 130 с.
- Логинов, В. Ф. Атлас опасных метеорологических явлений на территории Беларусь : учебное пособие / В. Ф. Логинов. – М. : Мещерский филиал ВНИИГиМ им. А. Н. Костянова, 2016. – 58 с.
- 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, № 518. – P. 861–880.
- Лысенко, С. А. Влияние местного испарения на количество осадков, выпадающих на территории Беларусь в вегетационный период / С. А. Лысенко, В. Ф. Логинов, В. И. Мельник // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 32–43.
- 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.

References

- Loginov V. F. *Global'nye i regional'nye izmeneniya klimata: dokazatel'naya baza i mezhdunarodnye soglasheniya po zashchite klimata* [Global and regional climate change: evidence and international climate protection agreements], Minsk, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, 2018, 102 p. (in Russian)
- Stoker T. F., Qin D., Plattner G.-K. [et al.] (eds.) IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, Cambridge Univ. Press, 2013, 222 p.
- Mel'nik V. I., Komarovskaya E. V., Kravcova S. M. Sovremennye izmeneniya klimata na meliorirovannyh torfyanyh pochvah Belorusskogo Polesya [Modern climate changes on reclaimed peat soils of the Belarusian Polesie]. *Pryrodnae asyaroddze Palessya: asablivasci i perspektivy razvivcy : zbornik navukovyh prac VIII Mizhnarodnay navukovay kanferencyi «Pryrodnae asyaroddze Palessya i navukova-praktichnyia aspeky racyianal'naga resursakarystannya»* [Proceedings of the VIII International Scientific Conference 'Natural Environment of Polesie and the theoretical and practical aspects of environmental management']. Brest, 12–14 September, 2018, Polesie agro-ecological Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Brest, Alternative, 2018, issue 11, pp. 74–77. (in Russian)
- Loginov V. F., Volchek A. A., Shpoka I. N. *Opasnye meteorologicheskie yavleniya na territorii Belarusi* [Hazardous meteorological phenomena in Belarus], Minsk, Belaruskaya Navuka Publ., 2010, 130 p. (in Russian)
- Loginov V. F. *Atlas opasnyh meteorologicheskikh yavleniy na territorii Belarusi* [Atlas of dangerous meteorological phenomena in Belarus]. Tutorial, Moscow, Meshchersky branch of VNIIGiM, 2016, 58 p. (in Russian)
- Eltahir E. A. B., Bras R. L. Precipitation recycling in the Amazon basin, Meteorol Q. J. R. Soc., 1994, vol. 120, no. 518, pp. 861–880.
- Lysenko S. A., Loginov V. F., Mel'nik V. I. *Vliyanie mestnogo ispareniya na kolichestvo osadkov, vypadayushchikh na territorii Belarusi v vegetaczionnyi period* [The effect of local evaporation on the amount of precipitation falling on the territory of Belarus during the growing season]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2019, no. 2, pp. 32–43. (in Russian)
- Lysenko S. A., Chernyshev V. D., Kolyada V. V. *Setochnyi arhiv meteorologicheskikh dannyh dlya Respubliki Belarus' i vozmozhnosti ego primeneniya dlya issledovaniya prostranstvenno-vremenennyh osobennostey izmeneniy klimata* [Grid archive of meteorological data for the Republic of Belarus and the possibility of its use for studying the spatiotemporal features of climate change]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2019, no. 1, pp. 17–27. (in Russian)

Информация об авторах

Лысенко Сергей Александрович – доктор физико-математических наук, профессор, директор, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: lysenko.nature@gmail.com

Логинов Владимир Федорович – академик, доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

Бондаренко Юрий Александрович – младший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: bondarenko_rfe@gmail.com

Information about the authors

Sergey A. Lysenko – D. Sc. (Physical and Mathematical), Professor, Director, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, 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., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by

Yuriy A. Bondarenko – Junior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: bondarenko_rfe@gmail.com

ОЦЕНКА ГИБЕЛИ ПОСЕВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ И ПОТЕРЬ УРОЖАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В ПЕРИОД ВЕГЕТАЦИИ В БЕЛАРУСИ

В. В. Коляда

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. В статье на основе анализа статистических данных по посевным площадям, валовым сборам и урожайности с убранный площади для административных областей и Беларуси в целом выполнена оценка гибели посевов и вызванных ею потерь урожая в период вегетации основных зерновых, технических и кормовых сельскохозяйственных культур за 1990–2019 гг. Методом множественной регрессии оценена обусловленность гибели посевов текущими погодными условиями. Показано, что гибель посевов и потери урожая у зерновых и зернобобовых культур в целом составляет менее 2 % в год. Минимальными значениями среди них характеризуются озимые культуры, несколько выше эти показатели у ранних яровых культур, а наиболее высокие – у кукурузы и гречихи (до 8–10 %). Среди технических культур высокими значениями гибели и потерь выделяется лен-долгунец, а максимальными их величинами характеризуются картофель, овощи открытого грунта и кормовые корнеплоды. В региональном плане наименее уязвимым к гибели посевов и потерям урожая является Гродненская область, а наиболее уязвимыми – Витебская, Могилевская и Гомельская области. Согласно полученным оценкам, эти негативные явления лишь частично можно объяснить текущими погодными условиями, основные их причины, по-видимому, следует искать в организационных и технологических издержках сельскохозяйственного производства.

Ключевые слова: гибель посевных площадей; урожайность и валовые сборы сельскохозяйственных культур; погодные условия; вегетационный период.

Для цитирования. Коляда В. В. Оценка гибели посевных площадей и потерь урожая сельскохозяйственных культур в период вегетации в Беларусь // Природопользование. – 2020. – № 1. – С. 30–38.

ASSESSMENT OF THE DEATH OF SOWN AREAS AND YIELD LOSSES OF CROPS DURING THE GROWING SEASON IN BELARUS

V. V. Kalyada

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

Abstract. An assessment of the death of crops and the resulting yield losses during the growing season of major cereals, industrial and forage crops for administrative regions and Belarus as a whole for 1990–2019, using a statistical data on sown areas, gross harvests and yield from the harvested area was made. Using the multiple regression method, the conditionality of the death of crops by weather conditions was estimated. It is shown that the death of crops and crop losses in cereals and legumes in general is less than 2 % per year. The minimum values among them are characterized by winter crops, these indicators are somewhat higher in early spring crops, and the highest values are in corn and buckwheat (up to 8–10 %). Among industrial crops, flax stands out with high values of death and losses, and their maximum values are characterized by potatoes, open ground vegetables and fodder root crops. In the regional plan, the Grodno region is the least vulnerable to the loss of crops and crop losses, and the Vitebsk, Mogilev and Gomel regions are the most vulnerable. According to the estimates obtained, these negative phenomena can only partially be explained by the current weather conditions, their main reasons, apparently, should be sought in the organizational and technological costs of agricultural production.

Keywords: death of sown areas; yield and gross harvest of crops; weather conditions; growing season.

For citation. Kalyada V. V. Assessment of the death of sown areas and yield losses of crops during the growing season in Belarus. *Nature Management*, 2020, no. 1, pp. 30–38.

Введение. Размеры гибели посевных площадей сельскохозяйственных культур могут служить индикатором уязвимости аграрной сферы к изменениям погодных условий и климата. В качестве такого индикатора обычно рассматривается урожайность культур, ежегодные колебания которой связывают с изменениями погодных условий, прежде всего, вегетационного периода. Вместе с тем известно, что размер урожая (валового сбора) определяется произведением его средней величины (уровня урожайности) на убранный площадь. Неурожай обычно вызывается снижением уровня урожайности вследствие неоптимальных условий тепло- и влагообеспеченности для развития растений, а также их гибелю под влиянием неблагоприятных (опасных) погодных явлений (засух, заморозков, выпадений

града и др.). Поэтому в неурожайные годы наблюдается достаточно четкая тенденция сокращения посевных (уборочных) площадей [1].

Однако современная сельскохозяйственная статистика Республики Беларусь не публикует информации о гибели посевных площадей. Ее поиск выявил лишь оперативные данные о гибели посевов в период весенне-летней вегетации зерновых и зернобобовых культур в целом, а также картофеля и льна-долгунца. Причем для важнейшей группы зерновых и зернобобовых культур гибель объединялась с переводом посевов в кормовую группу, что фактически исключало ее оценку.

В этой связи нами был применен подход к оценке гибели посевов и связанных с нею потерь урожая, базирующийся на доступной статистической информации. Ключевую роль в нем играют данные по урожайности с 1 га фактически убранной площади, которая рассчитывается в Республике Беларусь начиная с 1990 г. [2]. Наличие статистических данных по посевным площадям, валовым сборам и урожайности с убранной площади позволяет рассчитать размеры неубранных площадей в разрезе большинства сельскохозяйственных культур и их групп с однородной продукцией. Сопоставление расчетных данных с оперативной информацией о гибели посевов за 1998–2004 гг. показало их фактическое совпадение для картофеля и льна-долгунца [3, 4].

Накопленные за три десятилетия статистические данные позволяют получить репрезентативные оценки гибели посевов сельскохозяйственных культур и сделать статистически значимые выводы относительно их природы.

Цель работы – рассчитать гибель посевов в период вегетации и вызванные ею потери урожая основных сельскохозяйственных культур Беларуси, а также оценить их детерминированность погодными условиями.

Материалы и методы исследования. Для оценки гибели посевов были использованы данные Национального статистического комитета Республики Беларусь по посевным площадям, валовым сборам и урожайности культур в сельскохозяйственных организациях для административных областей и страны в целом за 1990–2019 гг.

Сущность оценки состояла в следующем:

– принимали, что посевная площадь i -той сельскохозяйственной культуры (S_i) состоит из убранной (Sh_i) и неубранной (Sr_i) частей:

$$S_i = Sh_i + Sr_i;$$

– абсолютные значения неубранной площади оценивали по статистическим данным о посевной площади, валовом сборе (Q_i) и урожайности с 1 га убранной площади (Yh_i):

$$Sr_i = S_i - Q_i/Yh_i;$$

– оценку потерь урожая культуры в абсолютных величинах (Qr_i) получали, принимая равными величины урожайности для убранной и неубранной частей посевной площади:

$$Qr_i = Sr_i \times Yh_i;$$

– гибель посевных площадей и потеря валового сбора в относительной форме (%) определяли по формулам

$$Sr_i \% = Sr_i/S_i \times 100 \quad \text{и} \quad Qr_i \% = Qr_i/Q_i \times 100.$$

Поскольку гибель посевных площадей может быть вызвана не только погодно-климатическими, но и технологическими и организационно-экономическими факторами, вклад первых оценивался по результатам множественной линейной регрессии, где в качестве зависимой переменной рассматривалась гибель посевов, а независимыми переменными служили данные по средней температуре воздуха и количеству атмосферных осадков за период вегетации. Для большинства зерновых культур, льна-долгунца и рапса последний охватывал месяцы с апреля по август, а для кукурузы, сахарной свеклы и картофеля – с мая по октябрь.

Временные ряды сопряженных данных за последние 30 лет по шести административным областям Беларуси были объединены в панель (panel data), для анализа которой применяли модель с фиксированными эффектами. В качестве регрессоров, помимо температуры и атмосферных осадков, через фиктивные переменные (dummy variables) учитывали специфику отдельных регионов – административных областей Беларуси. Для оценки параметров такой модели использовали обычный метод наименьших квадратов (ordinary least square) [5]. С учетом связанности температур и сумм осадков оценку их влияния осуществляли по отдельным уравнениям:

$$Sr_{it} \% = \beta_0 + \beta_1 \text{Temperature}_{it} + \beta_2 \text{Region}_i + \varepsilon_{it},$$

$$Sr_{it} \% = \beta_0 + \beta_1 \text{Precipitation}_{it} + \beta_2 \text{Region}_i + \varepsilon_{it},$$

где $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ – неизвестные коэффициенты (параметры) модели; Temperature, Region, Precipitation – группы факторов; ε – случайная ошибка.

Для оценки параметров моделей использовали эконометрический пакет GRETL. На первом этапе рассчитывали коэффициенты при всех переменных статистически значимых на уровне ошибки менее 10 %. Регрессионные зависимости тестирували на правильность спецификации модели (тест Рамсера или RESET), нормальность распределения (по χ^2) и гетероскедастичность (тесты Вайта и Брайша–Пагана) регрессионных остатков, автокорреляцию панельных данных (тест Вулдриджа), мультиколлинеарность факторов (метод инфляционных факторов). Результаты регрессии помимо значимых коэффициентов включали скорректированный на количество регрессоров коэффициент детерминации (R^2_{adj}), величина которого характеризует качество полученной зависимости [6].

Гибель посевов и потери урожая основных сельскохозяйственных культур. Представление о масштабах гибели посевов основных возделываемых сельскохозяйственных культур и тенденциях их динамики за последние три десятилетия для территории Беларуси в целом дают полученные по данной методике оценки неубранных площадей (рис. 1).

Следует отметить, что состав и структура посевых площадей сельскохозяйственных культур Беларуси в рассматриваемые годы, на которые пришлись процессы суворенизации и активная фаза современного глобального потепления, претерпели драматические изменения. В результате принятых мер по импортозамещению, а также под влиянием произошедших изменений агроклиматических ресурсов, утратили свою прежнюю доминирующую роль в посевах традиционные виды, в то время как доминантами стали культуры, не игравшие прежде существенной роли, а также новые культурные растения, что, с одной стороны, потребовало определенного периода технологической адаптации к их возделыванию, а с другой стороны, означало адаптацию растениеводства к изменению климата [7]. Все это не могло не скажаться в том числе на размерах гибели посевов и потерю урожая.

Для зерновых и зернобобовых культур, площади которых за рассматриваемый период сократились примерно на 10 %, гибель посевов в среднем составила 44,2 тыс. га, или 1,8 % в год. Самые высокие значения этих показателей отмечались в 1990-е годы (абсолютный максимум составил 107,2 тыс. га, или 4,4 % в 1998 г.). В течение исследуемого периода гибель посевов в абсолютном и относительном выражении синхронно снижалась (см. рис. 1).

Данная экономически наиболее важная и многочисленная группа культур, представленная различными видами озимых и яровых колосовых, а также крупяных и зернобобовых культур, претерпела в эти годы радикальную трансформацию. В рассматриваемый период резко сократилась площадь озимой ржи и ярового ячменя – в 2,8 раза, овса – в 2,3, гречихи – в 1,5 раза, соответственно, более чем в 4 и 10 раз выросли площади озимой и яровой пшеницы, важнейшей зерновой культурой стала тритикале, главным образом, в форме озимых посевов, широкое распространение в южных и центральных районах Беларуси получила кукуруза на зерно, в Брестской и Гродненской областях с их наиболее теплыми зимами началось возделывание озимого ячменя, в южных районах страны после длительного перерыва возобновились посевы проса [8].

В этих условиях у зерновых культур наблюдаются различные величины и тенденции показателей гибели посевов. Ее абсолютные показатели возрастали либо снижались в зависимости от характера динамики в данный период площадей той или иной зерновой культуры. В то же время показатели относительной гибели преимущественно имели тенденцию к снижению. Исключением являются утратившая свою ведущую роль в посевах озимая рожь и фактически пришедшая ей на смену озимая тритикале, у которых эта тенденция была положительной, хотя и статистически незначимой.

Минимальными величинами гибели посевов среди зерновых культур характеризуются озимые культуры, которые возобновляют вегетацию на более поздних стадиях онтогенеза и поэтому способны гораздо эффективнее использовать весенние запасы влаги и формировать более высокие урожаи, что весьма важно в условиях нарастающей засушливости климата. Средние их значения для ржи, тритикале и пшеницы равняются 1,3, 1,0 и 0,8 % посевов в год соответственно. Более высокие значения гибели посевов у яровых культур объясняются их большей уязвимостью к опасным погодным явлениям весеннелетнего периода, на который проходится полный цикл их развития. Средние годовые значения для пшеницы, ячменя и овса оцениваются в 2,2, 2,0 и 2,6 % посевов соответственно. Еще выше средняя гибель посевов у гречихи, которая обычно высевается на месяц – полтора позже ранних яровых культур – 8 % в год, а потери урожая составляют 10,2 %. По размерам средней гибели посевов и потерь урожая (6,4 и 11,8 % в год) она сопоставима лишь с быстро расширяющей свои площади кукурузой. Однако высокие размеры гибели посевов последней, с учетом понижательного характера их динамики, следует отнести скорее к издержкам роста при культивировании этой новой для Беларуси культуры, тогда как гречиха является традиционной культурой.

Среди технических культур наиболее высокими размерами гибели посевов выделяется лендолгунец. Средние значения его показателей составили 6 тыс. га, или 7,4 % посевной площади в год. Максимум гибели пришелся на 1990 г. – 35,7 тыс. га, или 23,9 %. В дальнейшем, на фоне общего трехкратного сокращения посевых площадей, абсолютные размеры гибели посевов данной культуры снижались, в то время как относительные – оставались практически неизменными и довольно высокими. Достаточно сказать, что в среднем каждый третий год (11 случаев за 30 лет) они приближались к 10 % либо превышали это значение (см. рис. 1).

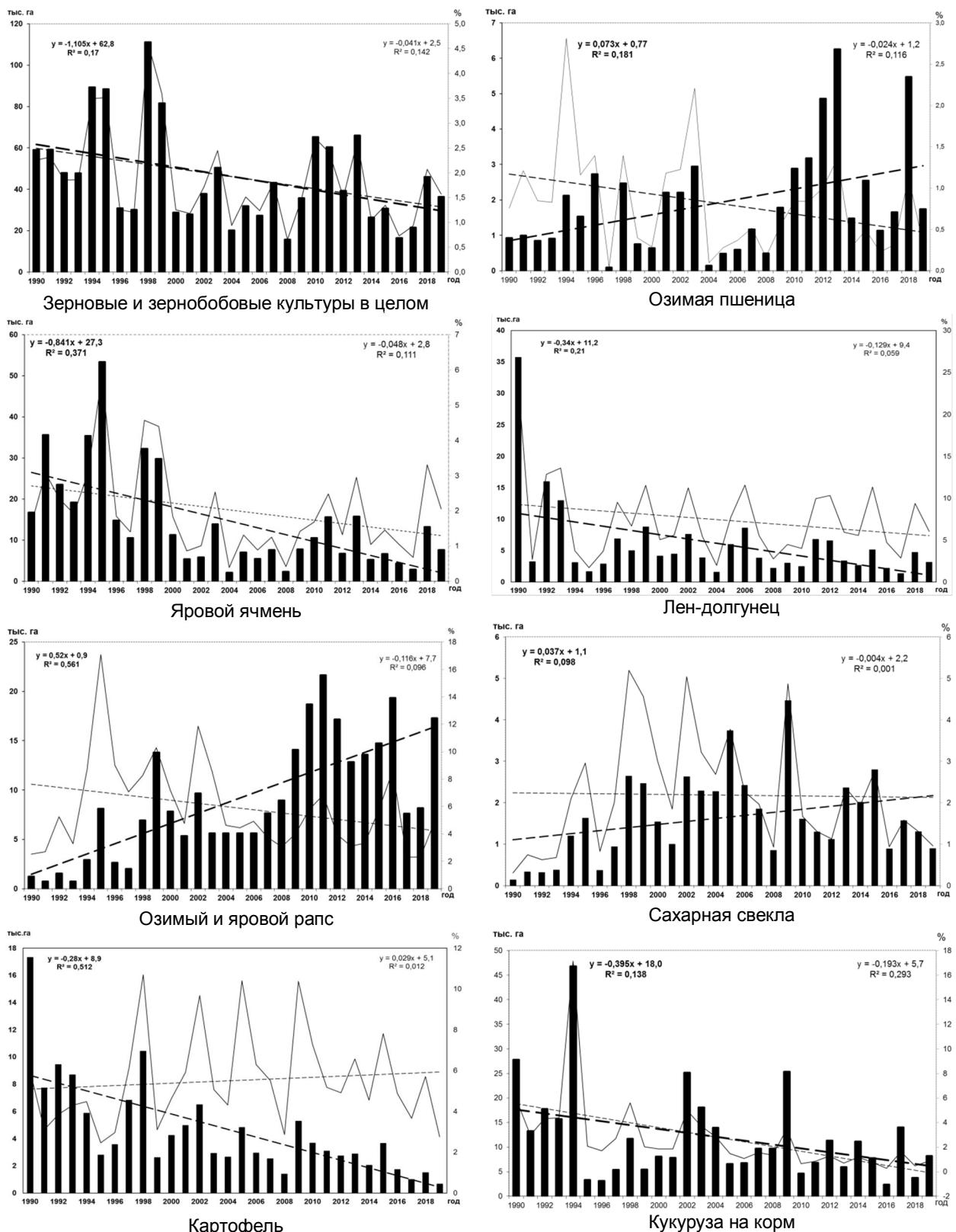


Рис. 1. Динамика неубранных площадей основных сельскохозяйственных культур в Беларуси за 1990–2019 гг. Столбцы характеризуют абсолютную гибель посевов; линии – относительную гибель; пунктирные линии отражают линейные тренды этих показателей

Fig. 1. Dynamics of non-harvested areas of major crops in Belarus for 1990–2019. Columns characterize the absolute death of crops; lines – the relative one; dashed lines reflect the linear trends of these indicators

Посевные площади под рапсом, который в эти годы превратился в основную масличную культуру, в целом выросли более чем в 7 раз. Параллельно с ними выросла и их гибель. В то же время относительные ее размеры после максимума в 1995 г. (17,1 %) неуклонно снижались. В среднем за период гибель здесь составила 8,9 тыс. га, или 5,9 %. При этом по существующим данным за 1990 г. и 1995–2019 гг. в среднем за год она составила для озимого рапса 5,1 тыс. га, или 3,5 % площадей, тогда как для ярового рапса – 4,8 тыс. га, и 9,3 %. При двукратном росте посевных площадей сахарной свеклы показатели гибели посевов не имели выраженной тенденции и были относительно невелики: в среднем 1,6 тыс. га, или 2,2 % в год.

На фоне сокращения в сельскохозяйственных организациях страны более чем на порядок площадей под картофелем и, как следствие, резкого уменьшения абсолютных размеров гибели посевов, сохраняются высокие (на уровне 10 % в отдельные годы) величины относительной гибели посевов. В среднем же гибель составила 4,5 тыс. га, или 5,5 %. Высокими размерами гибели посевов характеризуются овощные культуры открытого грунта, несмотря на то что их площади в целом за период сократились почти в 5 раз. Так, по имеющимся у нас неполным данным за последнее десятилетие (2010–2019 гг.), гибель у капусты составила 7,9 %, у моркови столовой – 9,2 % посевных площадей в год.

В группе кормовых культур данная методика позволяет рассчитать гибель посевов и потерю урожая у кормовых корнеплодов и кукурузы. Однако возделывание кормовых корнеплодов в сельскохозяйственных организациях к настоящему времени практически прекратилось. При этом показатели относительной гибели посевов данной культуры до последних лет оставались на уровне овощных культур и даже имели тенденцию к некоторому увеличению. Противоположная ситуация отмечается для кукурузы на корм, для которой характерны небольшие размеры гибели посевов при тенденции к сокращению абсолютных и относительных показателей, причем на фоне почти двукратного роста площадей. Среднегодовые размеры гибели посевов данной культуры составили 11,9 тыс. га, или 2,7 % посевных площадей (см. рис. 1).

Потери продукции сельскохозяйственных культур в результате гибели посевов определяются размерами погибших (неубранных) площадей и уровнем их урожайности, который у нас приравнен к урожайности с убранный площади. При этом характер динамики потерь в абсолютном выражении во многом следует динамике гибели посевов, а в относительном выражении незначительно отличается даже по цифрам. Величины абсолютных и относительных показателей гибели посевов и потеря урожая основных сельскохозяйственных культур по административным областям и стране в целом за 1990–1999 и 2000–2009 гг. приведены в табл. 1.

Анализ оценок показывает, что максимальными величинами гибели посевов и потеря урожая у зерновых и зернобобовых культур, льна-долгунца и кукурузы на корм в абсолютном и относительном выражении в целом для Беларуси выделяются 1990-е гг., тогда как в начале XXI в. эти показатели заметно снижаются. Для рапса абсолютные и относительные показатели изменялись разноправленно: первые в соответствии с расширением их площадей росли, а вторые – снижались. Для сахарной свеклы и картофеля, у которых абсолютные размеры гибели, подчиняясь общему характеру динамики их площадей, соответственно, росли либо сокращались, относительные показатели гибели в последние десятилетия, напротив, увеличивались (см. табл. 1).

Тенденция к снижению относительной гибели наиболее ярко выражена в северном регионе Беларуси – Витебской области, где она отмечается для всех без исключения культур, включая картофель. Этот регион, являющийся основной зоной льноводства в стране, вместе с Гомельской областью обеспечил общее снижение гибели посевов и потеря льноволокна в Беларуси за последние 20 лет. Тем не менее Витебщина характеризуется повышенными по сравнению со средними уровнями для Беларуси показателями относительной гибели и потеря для льна-долгунца и максимальными показателями – для картофеля и кукурузы на корм. В этом плане ее превосходит лишь Могилевская область – восточный регион страны, характеризующийся максимальными относительными значениями гибели посевов и потеря урожая среди регионов Беларуси, причем для большинства культур, уступая Витебской и Гомельской областям лишь по картофелю.

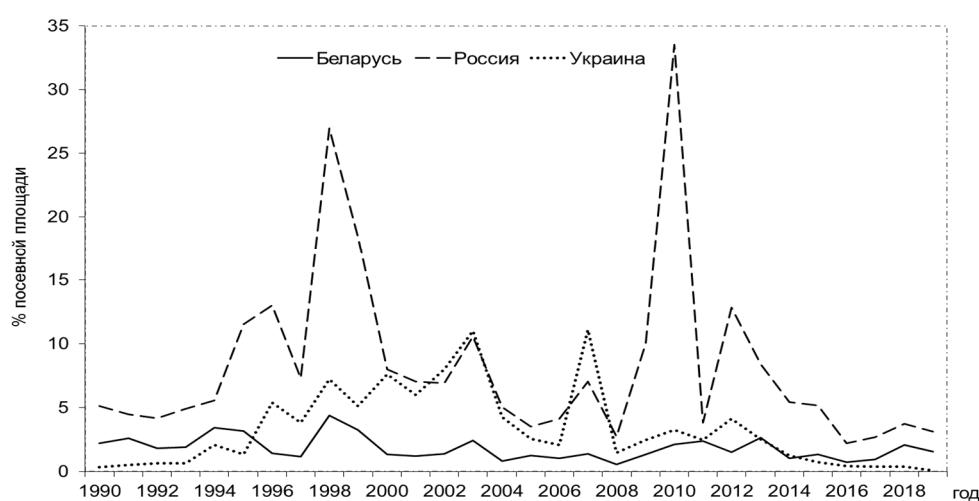
В целом же Могилевская, Витебская и Гомельская области, т. е. северный, восточный и юго-восточный регионы Беларуси, отличаются наиболее высокими показателями гибели посевов и потеря урожая сельскохозяйственных культур в Беларуси. Минимальными же показателями гибели и потеря практически для всех культур характеризуется западный регион – Гродненская область.

В заключение данной темы приведем данные о гибели посевов зерновых и зернобобовых культур в вегетационный период для Беларуси в сравнении с соседними странами (рис. 2).

Таблица 1. Динамика гибели посевов и потерь урожая основных культур в сельскохозяйственных организациях по административным областям Беларуси, 1990–2019 гг.**Table 1. The dynamics of the death of sown areas of major crops and yield losses in agricultural organizations by the administrative regions of Belarus, 1990–2019**

Параметр	Административная область												Республика Беларусь	
	Витебская		Минская		Гродненская		Могилевская		Брестская		Гомельская			
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
Зерновые и зернобобовые культуры в целом														
Sr, тыс. га	16,1	2,7	11,1	5,0	2,1	2,3	13,3	9,1	5,1	7,9	17,2	8,5	65,0	35,5
Sr, %	3,6	0,7	2,2	0,9	0,5	0,7	3,3	2,8	1,4	2,2	4,6	2,4	2,6	1,5
Qr, тыс. т	29,1	6,3	23,8	14,0	5,8	8,3	25,4	26,8	12,2	23,6	37,0	21,5	133,3	100,6
Qr, %	3,8	0,8	2,0	0,8	0,5	0,6	2,9	2,9	1,3	2,2	4,5	2,4	2,3	1,5
Лен-долгунец														
Sr, тыс. га	6,5	1,4	0,6	0,8	0,3	0,4	1,2	1,0	0,3	0,3	0,5	0,4	9,5	4,2
Sr, %	15,0	7,0	3,6	6,3	2,2	4,3	9,8	9,9	3,7	4,4	8,7	6,4	8,8	6,6
Qr, тыс. т	2,7	0,9	0,3	0,5	0,2	0,3	0,6	0,7	0,2	0,2	0,4	0,2	4,3	2,9
Qr, %	20,6	7,7	3,7	6,9	2,3	5,2	11,9	11,9	3,9	4,7	10,3	7,2	9,2	7,0
Сахарная свекла														
Sr, тыс. га	—	—	0,3	0,5	0,0	0,2	—	0,2	0,6	1,0	—	—	1,0	2,0
Sr, %	—	—	1,6	2,0	0,3	0,7	—	5,3	3,2	4,4	—	—	2,0	2,3
Qr, тыс. т	—	—	5,1	18,8	1,3	9,6	—	6,6	14,3	34,3	—	—	25,6	71,7
Qr, %	—	—	1,7	2,1	0,3	0,7	—	5,9	3,4	4,6	—	—	2,1	2,3
Озимый и яровой рапс														
Sr, тыс. га	0,6	2,3	0,6	1,3	0,3	1,0	1,0	3,8	0,4	1,5	1,3	1,2	4,2	11,1
Sr, %	12,9	5,0	4,9	3,1	2,7	2,7	13,1	9,5	5,4	4,4	16,9	6,5	7,9	5,1
Qr, тыс. т	0,3	2,4	0,4	1,9	0,2	1,5	0,5	5,3	0,4	2,3	0,7	1,3	2,4	14,7
Qr, %	15,8	5,5	5,3	3,3	2,9	2,8	21,3	10,8	5,8	4,7	22,0	7,8	7,5	5,1
Картофель														
Sr, тыс. га	2,1	0,4	1,4	0,7	0,2	0,1	0,7	0,4	0,5	0,6	2,4	0,8	7,4	3,0
Sr, %	9,2	7,5	3,9	4,6	1,1	1,6	3,8	7,4	2,4	6,3	7,1	8,0	4,6	5,9
Qr, тыс. т	20,0	5,7	16,6	12,2	3,5	2,1	9,1	7,1	7,3	9,7	28,8	12,4	85,3	49,2
Qr, %	10,5	8,4	4,2	4,9	1,2	1,7	4,1	8,1	2,5	6,8	7,7	8,9	4,6	5,9
Кукуруза на корм														
Sr, тыс. га	4,6	2,7	1,8	1,3	0,6	0,5	2,4	2,1	1,7	2,6	3,9	1,6	15,0	10,7
Sr, %	11,1	4,6	3,9	0,9	1,6	0,6	4,9	2,2	2,9	2,0	5,6	1,2	4,9	1,7
Qr, тыс. т	69,5	53,0	30,0	28,7	10,1	11,6	34,0	38,4	27,9	58,8	69,5	28,6	240,9	219,1
Qr, %	13,7	4,9	4,3	0,9	1,7	0,6	5,5	2,4	3,3	2,1	6,2	1,3	5,0	1,7

П р и м е ч а н и е: 1 – 1990–1999 гг., 2 – 2000–2019 гг.

**Рис. 2. Динамика гибели посевов зерновых и зернобобовых культур во всех категориях хозяйств в Беларусь, Российской Федерации и Украине, 1990–2019 гг.****Fig. 2. Dynamics of death of sown areas of grain and leguminous crops in all categories of farms in Belarus, the Russian Federation and Ukraine, 1990–2019**

Здесь следует лишь заметить, что за средними цифрами гибели посевов, а следовательно, и потерю урожая, которые для зерновых и зернобобовых культур в условиях Беларуси относительно невысоки, скрываются гораздо более внушительные их величины в отдельные годы в разрезе административных областей, а тем более административных районов.

Обусловленность гибели посевов текущими погодными условиями. Для оценки погодной обусловленности были использованы осредненные по административным областям показатели гибели посевов, а также температуры воздуха и суммы атмосферных осадков за месяцы вегетации сельскохозяйственных культур. Выбор этих показателей, а также высокий уровень их пространственной и временной агрегированности требуют пояснения. Автор отдает себе отчет в неполной адекватности используемых показателей для решения поставленной задачи. Вместе с тем, будучи наиболее массовыми и доступными, они позволяют характеризовать условия атмосферной засухи и избыточного увлажнения как наиболее значимых для сельскохозяйственных культур опасных погодных явлений, которые проявляются на обширных территориях, вполне соизмеримых с размерами административных областей. Следует также учитывать, что панельные данные позволяют предотвратить смещение агрегированности, возникающее при анализе усредненного объекта в рамках отдельного временного ряда, а также из-за игнорирования индивидуальных особенностей объектов при исследовании совокупности пространственных данных [9]. В то же время такую оценку не следует рассматривать как окончательную. Результаты регрессионного анализа сопряженных статистических и климатических данных могут в дальнейшем уточняться, в том числе за счет использования иных регрессоров, менее агрегированной информации и другой спецификации регрессионной модели (табл. 2).

Таблица 2. Результаты множественной регрессии факторов гибели посевов сельскохозяйственных культур Беларусь по средним областным данным, 1990–2019 гг.

Table 2. Results of multiple regression of crop death factors on the average regional data in Belarus, 1990–2019

Фактор	Зерновые и зернобобовые в целом	Озимая пшеница	Яровой ячмень	Овес	Лен-долгунец	Озимый и яровой рапс	Сахарная свекла	Картофель	Кукуруза на корм
<i>Влияние температуры воздуха, % / 1 °C</i>									
Апрель	–	–	–	–	–	–	...	–	...
Май	–	–	–	–	–	–	–	–	-0,42*
Июнь	0,29	–	0,45**	0,46**	–	–	–	–	-0,69**
Июль	0,15*	–	0,14*	–	–	–	–	–	–
Август	-0,45**	–	-0,54**	-0,51*	–	–	–	–	-0,66**
Сентябрь	–	0,32**	–	0,39**
Октябрь	-0,18**	–	-0,56***	-0,65***
<i>в том числе роль области, %</i>									
Брестская	-0,87***	-1,27***	-1,22***	-0,58**	-5,59***	-5,63***	–	–	–
Витебская	-2,10***	-1,47***	-1,55***	-1,95***	–	-2,72***	...	1,56***	1,75**
Гомельская	–	–	–	0,82**	-2,61***	–	...	2,27***	1,36*
Гродненская	-2,26***	-1,93***	-2,69***	-2,57***	-6,18***	-7,64***	-3,27***	-4,07***	-2,50***
Минская	-1,73***	-1,70***	-2,14***	-1,55***	-4,40***	-6,62***	-1,93***	-1,40***	-1,53***
$R_{\text{кор}}^2$, %	31,2	15,3	25,9	24,6	11,6	16,4	19,8	29,6	36,4
<i>Влияние сумм атмосферных осадков, % / 1 мм</i>									
Апрель	–	–	–	–	-0,055**	–
Май	–	–	–	–	-0,064*	–	–	0,032*	–
Июнь	–	–	–	–	–	–	–	0,026**	–
Июль	–	-0,007*	–	–	–	-0,024**	–	–	-0,022***
Август	–	–	–	–	0,012*	–	–	–	–
Сентябрь	–	–	–	0,034*
Октябрь	–	–	0,023**	0,021**
<i>в том числе роль области, %</i>									
Брестская	-1,04***	-1,22***	-1,25***	-0,73***	-5,45***	-5,94***	–	-1,03***	–
Витебская	-1,35***	-1,43***	-1,02***	-1,40***	-0,21**	-3,11***	...	1,61***	3,42***
Гомельская	0,23***	0,14***	0,26***	0,82***	-2,41***	0,51***	...	1,41***	–
Гродненская	-2,39***	-1,87***	-2,87***	-2,79***	-5,92***	-7,93***	-3,30***	-4,66***	-2,07***
Минская	-1,68***	-1,66***	-2,18***	-1,66***	-4,37***	-7,08***	-2,03***	-1,91***	-1,05***
$R_{\text{кор}}^2$, %	20,9	16,6	15,9	15,5	15,9	17,6	18,3	34,6	24,8

*Коэффициент значим на уровне 10 %.

**Коэффициент значим на уровне 5 %.

***Коэффициент значим на уровне 1 %.

П р и м е ч а н и е: (–) – статистически значимый коэффициент отсутствует; ... – данные не использовали.

Согласно значениям коэффициентов детерминации, гибель посевов сельскохозяйственных культур в период вегетации на территории Беларуси лишь частично объясняется погодными условиями, причем в сочетании с особенностями возделывания этих культур в отдельных регионах.

Последние связаны, прежде всего, с особенностями местных почв и культуры земледелия. Однако даже в совокупности эти факторы в лучшем случае объясняют примерно треть дисперсии гибели посевов для кукурузы на корм и зерновых и зернобобовых культур в целом при оценке влияния температуры, а также для картофеля – при оценке влияния атмосферных осадков.

Важнейшим фактором гибели посевов в период вегетации является неблагоприятный температурный режим. Судя по коэффициентам, высокие температуры в июне, а также в июле способствуют гибели посевов зерновых культур, прежде всего яровых. В то же время высокие температуры в августе – в период массовой уборки зерновых культур – способствуют ее качественному проведению, снижая таким образом их гибель. Отрицательная связь гибели посевов с температурой октября также, очевидно, объясняется возможностью качественной уборки кукурузы и картофеля. При этом для озимой пшеницы, льна-долгунца и рапса статистически значимые коэффициенты отсутствуют.

Роль атмосферных осадков как показателя увлажнения менее существенна: для зерновых и зернобобовых культур, ярового ячменя, овса и сахарной свеклы значимые коэффициенты отсутствуют. Вместе с тем, согласно полученным оценкам, выпадение осадков в апреле и мае уменьшает гибель посевов льна-долгунца, а в период его уборки в августе, напротив, способствует ее увеличению. Обильные осадки в начале вегетации (май и июнь), а также в конце (октябрь) приводят к гибели посевов картофеля. Рост количества осадков в июле сокращает гибель посевов для кукурузы на корм, в то время как в сентябре и особенно в октябре он ей способствует.

Роль индивидуальных особенностей регионов в гибели посевов во многом определяющая. Могилевская область, выступая базой для сравнения, характеризуется нулевыми коэффициентами, т. е. гибель посевов здесь определяется исключительно влиянием погодных факторов. Максимальными коэффициентами, сокращающими гибель посевов для всех рассмотренных культур, выделяется Гродненская область, на втором месте, заметно уступая ей, располагается Минская область. Роль остальных регионов не столь однозначна: юго-запад страны – Брестская область, уступая северному региону – Витебской области в коэффициентах, снижающих гибель посевов зерновых культур, существенно превосходит в этом отношении последнюю для рапса и особенно для льна-долгунца. Север страны, согласно своим положительным коэффициентам, способствует гибели посевов картофеля и кукурузы на корм. Наиболее уязвимым к гибели посевов является юго-восточный регион – Гомельская область, которая для большинства культур характеризуется положительными коэффициентами гибели посевов при оценке влияния атмосферных осадков, а также нулевыми и положительными коэффициентами в рамках оценки влияния температуры. Наиболее существенные различия в роли региональных факторов в гибели посевов имеют место для рапса, картофеля, льна-долгунца и кукурузы на корм (см. табл. 2).

Выводы

1. На основе статистических данных по посевным площадям, валовым сборам и урожайности с 1 га убранной площади для сельскохозяйственных организаций за 1990–2019 гг. в разрезе административных областей и Беларуси в целом рассчитаны абсолютные и относительные показатели гибели посевов и потерь урожая в вегетационный период, которые дают общее представление о масштабах этих негативных явлений, а также тенденциях изменения в Республике Беларусь и ее регионах (административных областях) для широкого круга обеспеченных данными зерновых, технических и кормовых культур.

2. Поскольку абсолютные показатели гибели и потерь сельскохозяйственных культур в этот период возрастали или снижались в зависимости от общего характера динамики их посевных площадей, то основными их индикаторами являются относительные показатели. Для большинства культур, за исключением озимой ржи, озимой тритикале и кормовых корнеплодов, они имеют тенденцию к снижению.

3. Гибель посевов и потери урожая в период вегетации у зерновых и зернобобовых культур в целом составляет менее 2 % в год. Минимальными значениями среди них характеризуются озимые культуры, несколько выше эти показатели у ранних яровых культур, а наиболее высокими значениями характеризуются кукуруза и гречиха (до 8–10 %). Среди технических культур высокими значениями гибели и потерь выделяется лен-долгунец, а максимальными их значениями среди всех рассмотренных культур – картофель, овощи открытого грунта и кормовые корнеплоды.

4. В региональном плане наименее уязвимым к гибели посевов и потерям урожая в период вегетации сельскохозяйственных культур является ее западный регион – Гродненская область, а наиболее уязвимыми – Витебская, Могилевская и Гомельская области – северный, восточный и юго-восточный регионы Беларуси соответственно.

5. На основании полученных оценок, гибель посевов и потерь урожая в период вегетации сельскохозяйственных культур на территории Беларуси лишь частично можно объяснить текущими погодными условиями, причем с учетом роли региональных особенностей. Не претендую на окончательный

характер сделанных выводов, можно предположить, что причины этих явлений следует искать, прежде всего, в технологических и организационно-экономических издержках нынешнего сельскохозяйственного производства.

Список использованных источников

1. Николаев, М. В. Современный климат и изменчивость урожаев: зерновые регионы умеренного пояса / М. В. Николаев. – СПб., 1994.
2. Методологические положения по статистике. – Минск, 2003. – Вып. 2.
3. Коляда, В. В. Оценка потерь продукции в результате гибели посевов / В. В. Коляда // Тез. докл. III Междунар. эколог. симп., г. Полоцк, сент. 2006 г. – Полоцк, 2006. – С. 163–165.
4. Коляда, В. В. Оценка гибели посевов сельскохозяйственных культур Беларуси в современных агроклиматических условиях / В. В. Коляда // Современные проблемы ландшафтования и геоэкологии. – Минск, 2008. – С. 216–217.
5. Картавев, Ф. С. Введение в эконометрику / Ф. С. Картавев. – М., 2019.
6. Малова, А. С. Основы эконометрики в среде GRETl / А. С. Малова. – М., 2016.
7. Логинов, В. Ф. Проблемы повышения адаптивной способности Республики Беларусь к изменениям климата / В. Ф. Логинов, В. В. Коляда // Природопользование. – Минск, 2015. – Вып. 28. – С. 5–13.
8. Коляда, В. В. Структурно-функциональные изменения агроценозов Беларуси в условиях потепления климата / В. В. Коляда, Ю. А. Шубская // Природопользование. – Минск, 2009. – Вып. 16. – С. 122–131.
9. Ратникова, Т. А. Анализ панельных данных и данных о длительности состояний / Т. А. Ратникова, К. К. Фурманов. – М., 2014.

References

1. Nikolaev M. V. Sovremennyj klimat i izmenchivost' urozhaev: zernovye regiony umerennogo poyasa [Modern climate and crop variability: temperate cereal regions]. St. Petersburg, 1994. (in Russian)
2. Metodologicheskie polozheniya po statistike [Methodological guidelines on statistics]. Minsk, 2003, vol. 2. (in Russian)
3. Kalyada V. V. Ocenna poter' produkci v rezul'tate gibeli posevov [Estimation of yield losses resulting from the death of sown areas]. Tez. dokl. III Mezhd. ekolog. simp., g. Polotsk, sent. 2006 g. [Proc. of the III Int. Ecological Symp., Polotsk, September 2006, pp. 163–165. (in Russian)
4. Kalyada V. V. Ocenna gibeli posevov sel'skoxozyajstvennyx kul'tur Belarusi v sovremennyx agroklimaticeskix usloviyax [Assessment of the death of sown areas in Belarus in modern agroclimatic conditions]. Sovremennye problemy' landshaftovedeniya i geoe'kologii = Modern problems of landscape science and geoecology. Minsk, 2008, pp. 216–217. (in Russian)
5. Kartaev F. S. Vvedenie v e'konometriku [Introduction to Econometrics]. Moscow, 2019 (in Russian)
6. Malova A. S. Osnovy' e'konometriki v srede GRETl [Fundamentals of Econometrics in the GRETl Environment]. Moscow, 2016. (in Russian)
7. Loginov V. F., Kalyada V. V. Problemy' povy'sheniya adaptivnoj sposobnosti Respubliki Belarus' k izmeneniyam klimata [Problems of increasing of adaptive capacity of the Republic of Belarus to climate change], Minsk, 2015, vol. 28, pp. 5–13. (in Russian)
8. Kalyada V. V., Shubskaya Yu. A. Strukturno-funktional'nye izmeneniya agrocenozov Belarusi v usloviyakh potepleniya klimata [Structural and functional changes of agricenosis of Belarus in the climate warming]. Prirodopol'zovanie = Nature Management, 2009, vol. 16, pp. 122–131. (in Russian)
9. Ratnikova T. A., Furmanov K. K. Analiz panel'nyh dannyh i dannyh o dlitel'nosti sostoyanij [Analysis of panel data and state duration data]. Moscow, 2014. (in Russian)

Информация об авторе

Коляда Валерий Васильевич – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, 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., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: valery_v_kalyada@tut.by

СИСТЕМООБРАЗУЮЩАЯ РОЛЬ ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ СЕТИ В ОРГАНИЗАЦИИ ПРИРОДНОГО КАРКАСА ГОРОДА

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

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Рассматривается роль гидрографической сети в организации природного каркаса городов Беларуси, необходимость формирования которого связана с дефицитом природной составляющей на урбанизированных территориях. Показано, что, несмотря на сильное техногенное преобразование гидрографической сети в условиях города, она по-прежнему остается уникальным природным базисом, поскольку разнообразие экосистем, как правило, сохраняется лучше всего в пределах речных долин, особенно это касается пойм и прилегающих к ним территорий. Кроме того, гидрографическая сеть обеспечивает дискретность городской застройки, поддерживая определенную комфортность проживания в больших массивах застроенных пространств, а благодаря ландшафтам речных долин и прибрежных территорий обладает эстетической ценностью. В то же время водные объекты (реки, ручьи, остаточные водоемы на месте высохших русел рек) в городской среде – это сохранившиеся фрагменты естественной дренажной сети, продолжающие выполнять свою основную функцию. Они концентрируют, собирают и отводят как поверхностный, так и подземный сток, определяя тем самым целостность природно-антропогенной структуры городской среды посредством ландшафтно-геохимических связей водораздельных территорий с тальвегами речных долин через систему элементарных ландшафтов. Анализ водных объектов как элементов природного каркаса в городах Беларуси показал, что наиболее значимыми в этом отношении являются градообразующие реки и их притоки.

Ключевые слова: гидрографическая сеть; природный каркас; речная долина; природный комплекс; градообразующая река.

Для цитирования. Кадацкая О. В., Санец Е. В., Овчарова Е. П. Системообразующая роль гидрографической сети в организации природного каркаса города // Природопользование. – 2020. – № 1. – С. 39–47.

SYSTEM-FORMING ROLE OF HYDROGRAPHIC NETWORK IN THE ORGANIZATION OF THE NATURAL FRAMEWORK OF THE CITY

О. В. Kadetskaya, Е. В. Sanets, А. Р. Aucharova

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

Abstract. The role of the hydrographic network in the organization of the natural framework of the cities of Belarus is considered. The need of the formation of the natural framework is related to a deficit of the natural component in urban areas. Despite of the strong technogenic transformation the hydrographic network in cities remains a unique natural basis as far as ecosystems diversity is best preserved within river valleys, especially in floodplains and adjacent areas. In addition, the hydrographic network provides the discreteness of the built-up areas, maintains a certain comfort of living in large blocks of built-up spaces and has aesthetic value thanks to the landscapes of river valleys and coastal areas. At the same time, water bodies (rivers, streams, residual reservoirs etc.) in the urban environment are fragments of the preserved natural drainage network that continue to perform their main function. They concentrate, collect and divert both surface and underground runoff, thereby determining the integrity of the natural-anthropogenic structure of the urban environment through landscape-geochemical connections of the watershed areas with thalwegs of river valleys through a system of elemental landscapes. Analysis of water bodies as elements of the natural framework in the cities of Belarus showed that the most important in this respect are the city-forming rivers and their tributaries.

Keywords: hydrographic network; natural framework; river valley; natural complex; city-forming river.

For citation. Kadetskaya O., Sanets E., Aucharova A. System-forming role of hydrographic network in the organization of the natural framework of the city. *Nature Management*, 2020, no. 1, pp. 39–47.

Введение. Организация природных каркасов городов, различающихся по величине (крупности) и функциональной направленности, в значительной степени определяется природной составляющей урбанизированной территории. На фоне дефицита природных ландшафтов в городской среде немаловажная роль принадлежит гидрографической сети. Несмотря на значительное техногенное преобразование в пределах урбанизированной территории, она по-прежнему остается уникальным природ-

ным базисом, с которым связано развитие и функционирование городских территорий. С одной стороны, гидрографическая сеть обеспечивает дискретность городской застройки, создавая определенную комфортность проживания в больших массивах застроенных пространств, а с другой – прилегающие к водным объектам природные комплексы являются местами концентрации биоты и средой обитания диких животных, сохранившихся в городских условиях [1–3]. При этом реки, транзитом дrenирующие урбанизированную часть водосбора, осуществляют связь городских природных и природно-антропогенных ландшафтов с естественными биогеоценозами пригородных территорий, объединяя их в единую экологическую структуру. Из сказанного следует, что приуроченность городов к водным объектам различного генезиса создает условия для формирования на основе гидрографической сети их природного каркаса.

В этом отношении весьма благоприятная ситуация характерна для Беларуси, где абсолютное большинство городов (84 %) расположено на реках различной величины. К большим рекам приурочено 35 городов, к средним – 24, к малым – 38, к водоемам – 11 городов. Отсутствуют водные объекты в пределах городской территории только в 5 из 115 городов страны (рис. 1).

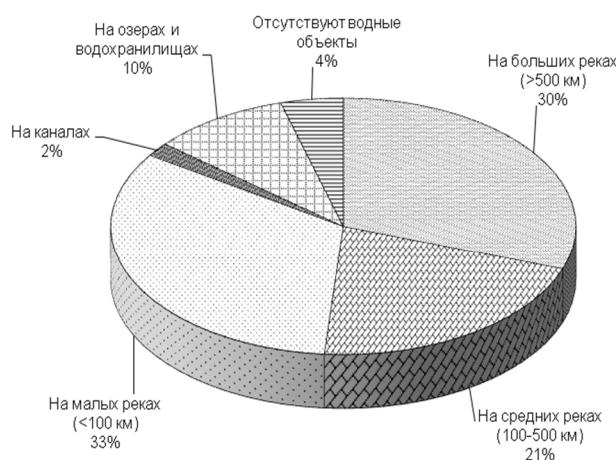


Рис. 1. Распределение городов Беларуси по отношению к водным объектам различного типа

Fig. 1. Distribution of the cities of Belarus in relation to water bodies of different types

Материалы и результаты. К городским водным объектам, как известно, относятся водоемы, все берега которых находятся на урбанизированной территории, а также реки или участки рек, протекающие в границах города [4]. В качестве косвенного показателя обеспеченности городов Беларуси гидрографической сетью для организации природного каркаса могут быть использованы данные Реестра земельных ресурсов Республики Беларусь о площади, занимаемой водными объектами в городах [5]. В крупных и больших городах, представленных в табл. 1, площадь городских земель под водными объектами варьирует от 8 до 839 га. При этом наиболее благоприятная ситуация характерна для городов Орши, Мозыря, Гомеля и Бреста, поскольку в процентном отношении ко всей площади городских земель здесь под водными объектами заняты более существенные пространства. Наиболее проблемными городами являются Солигорск и Бобруйск.

Что касается средних городов (табл. 2), то формирование природного каркаса с использованием гидрографического фактора имеет хорошие перспективы в городах Новополоцке, Кричеве, Полоцке и Жодино. В городах Марьина Горка, Осиповичи, Жлобин, Молодечно и Калинковичи наличие земель под водными объектами не достигает 1 %.

Для характеристики реальной ситуации в первую очередь необходимо провести типизацию городских водных объектов и установить их место в структуре организации каркаса. К основным факторам, определяющим их роль в формировании природного каркаса города, относятся: генезис и местоположение водных объектов, характер нарушения речной сети, состояние долинных комплексов в городской черте, уровень освоения и застройки пойм и прибрежных территорий, степень инженерно-экологического обустройства прилегающих территорий [5].

Анализ водных объектов как элементов природного каркаса в городах Беларуси показал, что наиболее значимыми в этом отношении являются градообразующие реки и их притоки (рис. 2).

Таблица 1. Обеспеченность крупных и больших городов Беларуси и г. Минска поверхностными водными объектами**Table 1. Provision of large and big cities of Belarus and the city of Minsk with surface water bodies**

Город	Общая площадь земель, га	Под водными объектами	
		га	%
<i>Большие города</i>			
Борисов	5310	61	1,15
Солигорск	1527	8	0,52
Барановичи	8496	104	1,22
Пинск	4736	107	2,26
Орша	3890	296	7,61
Мозырь	4418	352	7,97
Бобруйск	9002	54	0,60
<i>Крупнейший город</i>			
Минск	34 800	800	2,30
<i>Крупные города</i>			
Брест	14 612	839	5,74
Витебск	12 454	362	2,91
Гродно	14 198	265	1,87
Гомель	13 521	806	5,96
Могилев	11 850	239	2,02

Таблица 2. Обеспеченность средних городов Беларуси поверхностными водными объектами**Table 2. Provision of medium-sized cities of Belarus with surface water bodies**

Город	Общая площадь земель, га	Под водными объектами, га	Под водными объектами, %
Вилейка	1652	40	2,42
Молодечно	3349	27	0,81
Марьина Горка	1520	3	0,20
Слуцк	3290	52	1,58
Жодино	2321	74	3,19
Кобрин	3172	91	2,87
Новополоцк	4849	243	5,01
Полоцк	4296	174	4,05
Волковыск	2853	33	1,16
Новогрудок	1397	13	0,93
Слоним	3574	83	2,32
Сморгонь	1824	24	1,32
Жлобин	3837	21	0,55
Калинковичи	2074	20	0,96
Рогачёв	3181	54	1,70
Светлогорск	2586	34	1,31
Горки	2229	45	2,02
Кричев	2474	104	4,20
Осиповичи	2083	9	0,43

Несмотря на существенную трансформацию речной сети и изменение условий формирования водного режима водотоков, элементы речных долин с сохранившейся естественной растительностью хорошо выражены в техногенно-преобразованном рельефе городской территории. Организация природного каркаса на основе долин градообразующих рек и их притоков, по мнению авторов работ [1, 6, 7], вполне оправдана, исходя из следующих положений:

- у этих территорий есть планировочный стержень – река – единственное открытое пространство, беспрепятственно проходящее через территорию города, следовательно, речные прибрежные территории являются единственным городским элементом, обладающим возможностью объединения с региональным экологическим каркасом;

- прибрежные ландшафты обладают высокими экологическими свойствами, выраженными в высокой биопродуктивности пойм, способных при определенных условиях эффективно воспроизводить и поддерживать существование биоценозов;

- данные территории наиболее востребованы населением для отдыха и занятий спортом.

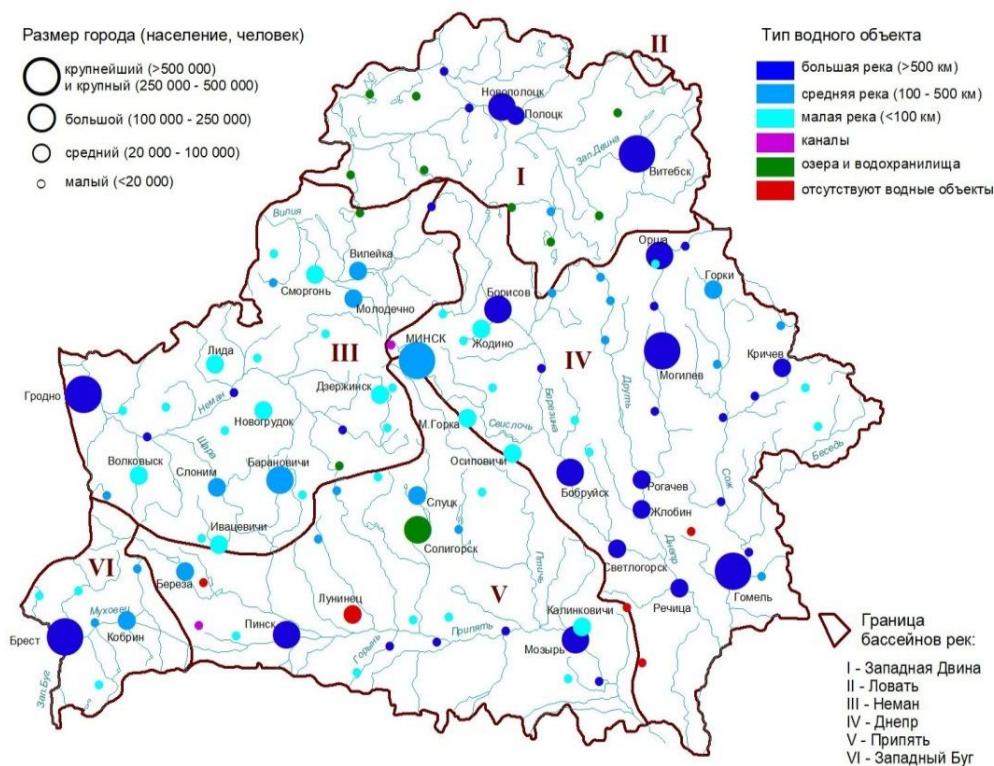


Рис. 2. Расположение городов по отношению к водным объектам на территории Беларуси

Fig. 2. Location of cities in relation to water bodies in Belarus

Аналогичное мнение высказано в работе [8], в которой при рассмотрении картографических моделей экологических (природных) каркасов для 15 крупнейших городов Российской Федерации с численностью населения более 1 млн человек выделены три их типа: мозаичный, периферийный и приречный. Как оказалось, приречная модель характерна для 8 городов из 15, в которых ядро каркаса формируют крупномассивные элементы, занимающие поймы и надпойменные террасы. Авторы исходили из того факта, что конфигурация природных каркасов конкретных городов весьма разнообразна и может быть подвергнута типологизации на основе учета ряда признаков: размерности элементов каркаса, их дисперсности и расположения относительно городского центра и периферии, локализации относительно главной водной артерии города.

Для Беларуси в основном характерно развитие градостроительной системы в условиях долинно-речного ландшафта. В связи с этим решение экологических проблем города, существующего в подобном типе ландшафта, неразрывно связано с характером речной сети на урбанизированной территории.

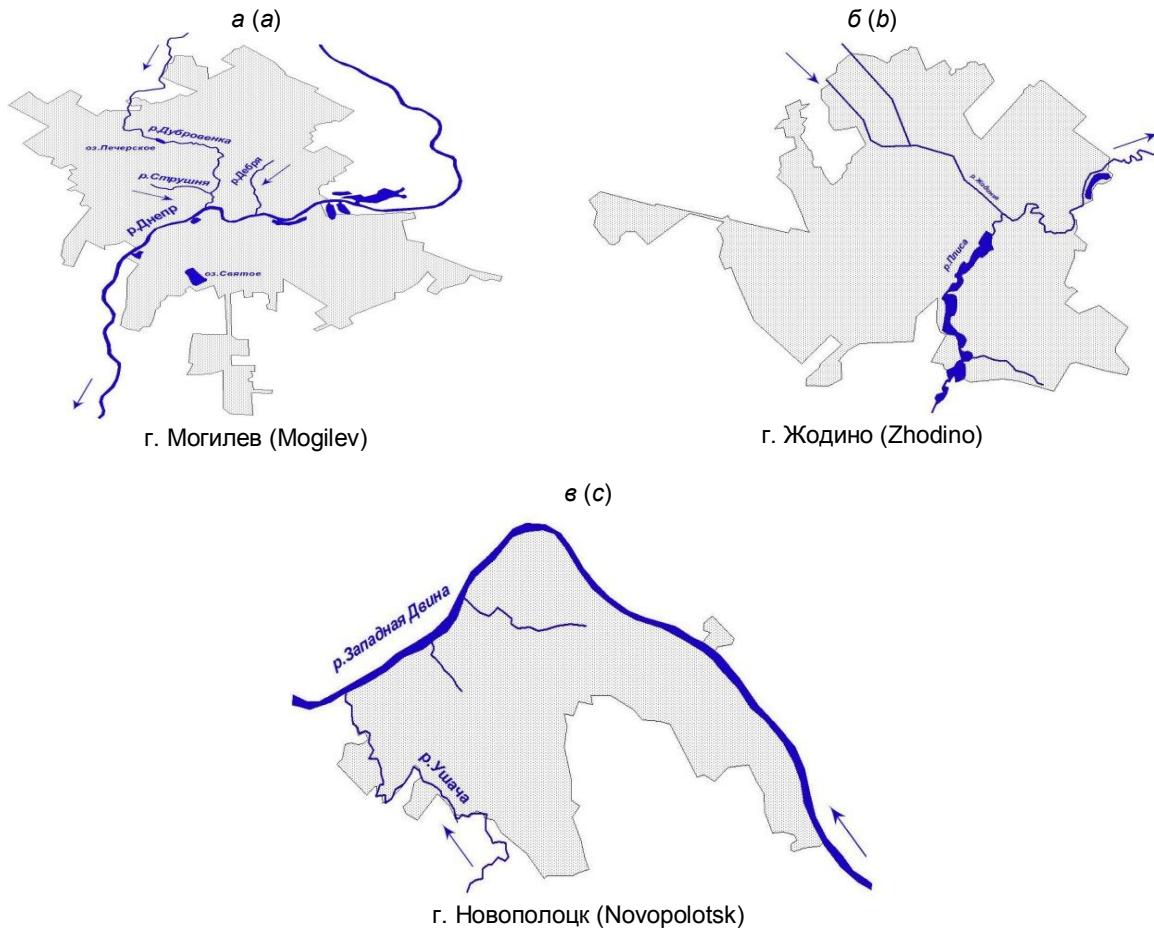
Проведенный анализ «пространственной организации» рек и их долин в крупных, больших и средних городах страны показал, что конфигурация (рисунок) речной сети в рассматриваемых городах весьма разнообразна, но может быть типологизирована с учетом двух основных признаков:

- локализации главной (градообразующей) водной артерии на территории города;
- расположения притоков относительно градообразующей реки.

Установленные для градообразующих рек диаметральная, периферийная и граничная локализации в чистом виде встречаются достаточно редко.

Так, диаметральное расположение градообразующей реки характерно, например, для Могилева (рис. 3, а), периферийное – для г. Жодино (рис. 3, б), граничное – для Новополоцка (рис. 3, в).

Как правило, главная водная артерия города представлена комбинированием (сочетанием) указанных локализаций: диаметрально-граническая (Гродно, Орша, Бобруйск, Борисов, Слоним), гранично-диаметральная (Витебск, Гомель, Лида, Полоцк, Слоним), периферийно-граническая (Мозырь, Горки, Жлобин), гранично-периферийная (Вилейка, Волковыск, Пинск, Рогачев), периферийно-диаметральная (Жодино).



**Рис. 3. Основные типы локализации градообразующих рек в городах Беларуси:
а – диаметральная; б – периферийная; в – граничная**

**Fig. 3. The main types of localization of city-forming rivers in the cities of Belarus:
a – diametrical; b – peripheral; c – boundary**

Что касается второго типологического признака – расположения притоков относительно градообразующей реки, то их рисунок соответствует главным образом различным модификациям радиального и лучевого положения. Так, например, радиально-лучевое древовидное расположение притоков отчетливо прослеживается в Могилеве (см. рис. 3, а), наблюдается в Минске и Гродно. В качестве примера радиально-лучевой конфигурации притоков на урбанизированной территории можно привести г. Полоцк (рис. 4, а), диаметрально-лучевой – г. Волковыск (рис. 4, б), гранично-лучевой – г. Борисов (рис. 4, в), радиально- и гранично-лучевой – г. Кобрин (рис. 4, г).

Кроме рассмотренных типов локализации притоков по отношению к градообразующей реке отмечаются и другие модели конфигурации речной сети, которые при правильной организации экологической структуры города формируют основу его природного каркаса.

Так, если водная артерия является доминантой планировочной структуры города (например, акватории таких рек, как Западная Двина, Неман, Днепр, Свислочь, Сож и др.), река и ее долина становятся стержнем (основой) природного каркаса, который включает естественные пойменные участки, прибрежные полосы и водоохранные зоны, с природно-антропогенными ландшафтами на террасах, склонах и водоразделах. При этом долинные комплексы градообразующей реки и ее притоков, как правило, достаточно четко выражены в пределах города.

В этом случае природные и природно-антропогенные ландшафты, характерные для того или иного города, можно ранжировать по их приуроченности к типам местности речной долины: пойменному, надпойменно-террасовому, склоновому и водораздельному с указанием доминирующих уроцищ (по фитоценозу), существующей рекреационной специализации и функциональному назначению прилегающих территорий [9–11].

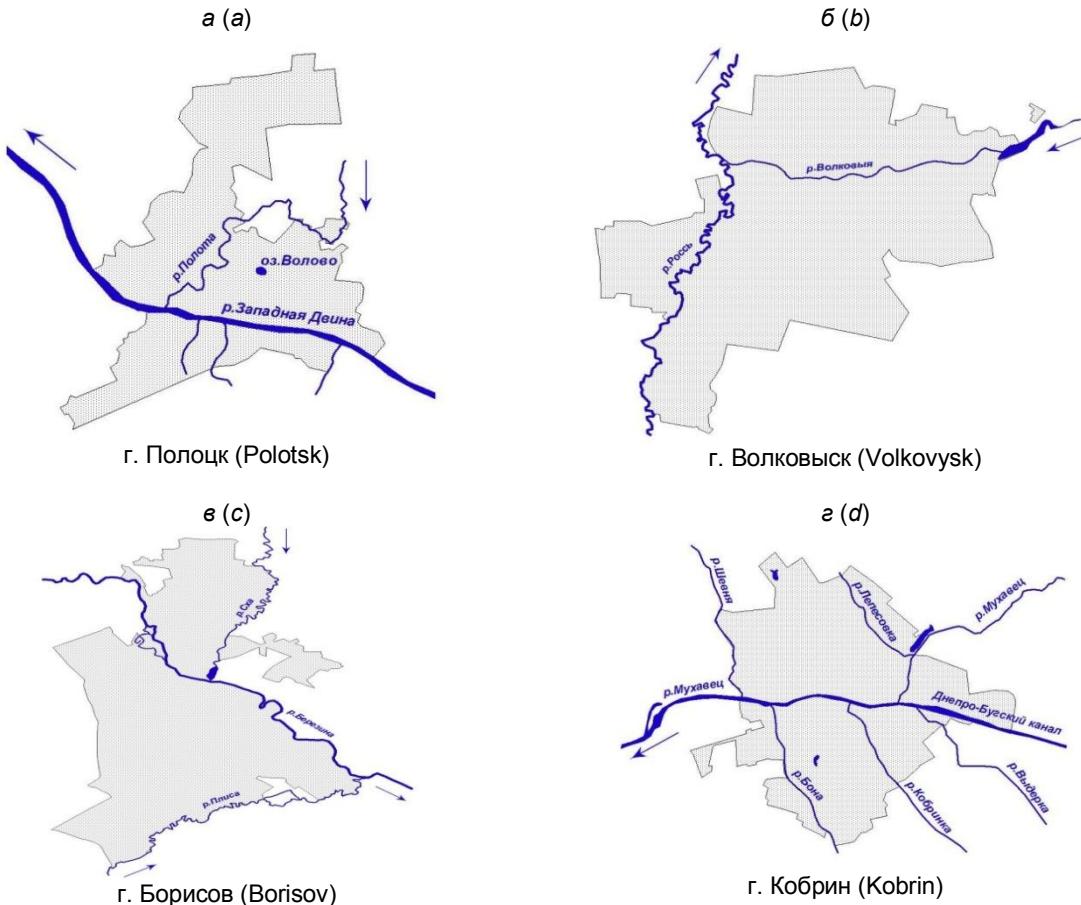


Рис. 4. Некоторые типы конфигурации притоков в городах Беларуси по отношению к градообразующей реке: а – радиально-лучевая; б – диаметрально-лучевая; в – гранично-лучевая; г – радиально- и гранично-лучевая

Fig. 4. Some types of the configuration of tributaries in the cities of Belarus in relation to the city-forming river: а – radial-beam; б – diametral beam; в – boundary-beam; г – radial- and boundary-beam

Каждый тип местности отличается индивидуальностью водного режима, обусловленного характером водно-физических свойств почв и своеобразием растительного покрова, но вместе с тем все они являются элементами геосистемы бассейнового типа, целостность которой обеспечивается односторонними потоками вещества и энергии с поверхностным и грунтовым стоком. При этом долинные комплексы малых рек (притоков градообразующей реки), обеспечивая дискретность застроенной территории и выполняя функции ее дренажирования, по своей сути, являются осями, соединяющими весь каркас в «единое целое». Иными словами, природные водные объекты в городской среде (реки, ручьи, остаточные водоемы на месте высохших русел рек) – это сохранившиеся фрагменты естественной дренажной сети, продолжающие выполнять свою основную функцию. Они концентрируют, собирают и отводят как поверхностный, так и подземный сток.

Наряду с естественной системой дренажирования, в городах функционирует дренажно-канализационной сеть, отводящая поверхностный сток с застроенных территорий техногенных субводосборов, образованных в результате строительства дождевой канализации, в принимающий водоток. При этом коллекторы дождевой канализации можно считать новыми техногенными притоками градообразующей реки, возникшими вследствие урбанизации водосбора. Как правило, такие водосборы имеют геометрически четкие границы, так как обусловлены главным образом квартиральной застройкой [12]. Причем вместе с подземной составляющей стока, формирующегося в пределах незапечатанных участков субводосборов, дренажно-канализационная сеть обеспечивает геосистемные признаки урбанизированных участков водосборов.

В то же время нельзя оставлять без внимания и небольшие естественные или искусственные водоемы различного генезиса и функционального назначения, которые можно рассматривать как микроузлы природного каркаса, препятствующие образованию сплошных массивов застройки, обеспечивая соразмерное чередование застроенных и озелененных пространств.

Сказанное свидетельствует о том, что речная сеть может рассматриваться не только как составная часть природного (экологического) каркаса, выполняющая главным образом функцию экологических коридоров или создающая основу водно-зеленых ландшафтно-рекреационных диаметров городов, а и выступать в роли системообразующего фактора, обеспечивающего целостность функционирования каркаса.

Системообразующая роль водного фактора обнаруживается и при исследовании организации городских природных комплексов, приуроченных к речным долинам, с использованием ландшафтного подхода, сущность которого заключается в том, что вся урбанизированная территория рассматривается как единое целостное образование с присущей только ей специфической ландшафтной организацией [13]. Причем в качестве основы (своего рода скелета) природно-экологический каркас должен включать: речные долины (с ландшафтными комплексами пойм, надпойменных террас, коренных склонов долин и долинных зандров), долинные зандры, долины ручьев и лощинно-балочные верховья речных долин, западинообразные приводосборные понижения и мелкие ложбинны стока ледниковых вод. Эти комплексы отличаются единством направленности процессов функционирования и динамики, приводящих к смене вертикальной и горизонтальной структур ландшафтов. Важнейшей функциональной особенностью является то, что они служат местными коллекторами и каналами стока поверхностных вод.

На основе ландшафтно-гидрологического подхода сформировалось представление о реках как о парагенетических системах, в которых река и ее водосбор связаны однонаправленным поверхностным и грунтовым стоком, т. е. интегрирующие свойства водного потока позволяют рассматривать бассейн градообразующей реки как целостное системное образование [14]. В этих условиях взаимодействие ландшафтов природного каркаса города обеспечивается переносом вещества и энергии однонаправленными потоками поверхностного и подземного стока, который объединяет долины рек и водосборы.

Следовательно, функционирование природных и природно-антропогенных ландшафтов городов неразрывно связано со стокоформирующей функцией, обуславливающей в определенной степени почвенно-растительный покров на различных элементах речной долины и водосбора. Со стокоформирующей функцией неразрывно связана геохимическая функция – перенос вещества и энергии однонаправленными потоками поверхностного и подземного стока.

Сохранившиеся в городских условиях водные объекты (реки, ручьи, остаточные водоемы на месте высохших русел рек) в условиях урбанизации по-прежнему выполняют функцию естественной дренажной сети, определяя тем самым целостность природно-антропогенной структуры городской среды посредством ландшафтно-геохимических связей водораздельных территорий с тальвегами речных долин через систему элементарных ландшафтов. Особенно отчетливо системные функции речной сети прослеживаются на примере пойменно-русловых комплексов и выражаются в высокой продуктивности пойм, способных при определенных условиях эффективно воспроизводить и поддерживать существование пойменных биоценозов.

Заключение. Несмотря на существенную трансформацию гидрографической сети и изменения водного режима в пределах урбанизированных участков водосборов, организация природного каркаса города на основе долинных комплексов градообразующих рек и их притоков является оптимальной для его формирования. При этом отчетливо прослеживается интегральное влияние гидрографической сети на процессы формирования природных и природно-антропогенных комплексов экологического каркаса.

Сохранение природных комплексов на различных уровнях формирования поверхностной и подземной составляющих речного стока в структуре разномасштабных речных бассейнов на урбанизированной территории делает гидрографическую сеть основой создания системы экологической компенсации, необходимой для обеспечения комфортности проживания в городах. Ландшафтно-гидрологические и геохимические свойства водораздельных, плакорных, склоновых, террасовых и пойменных местоположений, выполняющие только им свойственные стокоформирующие (водно-балансовые) и водоохранные функции, объединяют озелененные территории различного типа в единый природный каркас. При этом каждое из местоположений может рассматриваться как «зона экологической компенсации», активность которой зависит от характера формирующих ее природных компонентов и геоморфологической приуроченности в пределах речной долины. Следовательно, речная сеть является системообразующим фактором, обеспечивающим целостность природного каркаса.

Геосистемные функции речной сети, обеспечивающие целостность природных и природно-антропогенных ландшафтов за счет протекающих в них процессов и существующих взаимосвязей, прослеживаются в первую очередь на примере пойменно-русловых парагенетических комплексов. Пойма и русло реки генетически едины, процессы, объединяющие их, взаимосвязаны, влияют друг на друга и имеют прямые и обратные связи. Их экосистемные функции выражены также в высокой

продуктивности пойм, способных при определенных условиях эффективно воспроизводить и поддерживать существование пойменных биоценозов.

Для оценки геосистемных функций гидрографической сети необходимо использовать показатели, характеризующие ландшафтно-гидрологические условия природных комплексов (особенности формирования процессов стокообразования, исходя из геоморфологической ситуации, состояния почвенного покрова, наличия характерных биогеоценозов и специфики отвода дождевых и талых вод).

Список использованных источников

- Емельянова, О. В. Ельцовка-1 как один из определяющих элементов экологического каркаса городов / О. В. Емельянова, Н. В. Горошко, О. В. Мигаутина // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2017. – № 3. – С. 55–71.
- Зборовская, М. И. Значение водных объектов в формировании экологического каркаса урбанизированной территории / М. И. Зборовская, В. А. Зимнюков, Н. Ю. Козимиров // Экологические и биологические системы. – М., 2015. – Т. 20 : Ecological studies, hazards, solutions. – С. 20–23.
- Никитин, А. В. Структура экологического каркаса города Казани / А. В. Никитин, Н. М. Мингазова // Экологический консалтинг. – 2012. – № 4 (48). – С. 15–18.
- Волшаник, В. В. Классификация городских водных объектов / В. В. Волшаник, А. А. Суздалева. – М. : Изд-во АСВ, 2008. – 112 с.
- Кадацкая, О. В. Гидрографическая сеть урбанизированных территорий как элемент формирования природного каркаса города / О. В. Кадацкая, Е. В. Санец, Е. П. Овчарова // Современные проблемы ландшафтования и геоэкологии : материалы VI Междунар. науч. конф. (к 110-летию со дня рожд. проф. В. А. Дементьева), Минск, 13–16 ноябр. 2018 г. / редкол.: А. Н. Витченко (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2018. – С. 194–196.
- Бобрышев, Д. В. Интеграция прибрежных территорий в функционально-планировочную структуру города как необходимое условие их устойчивого развития / Д. В. Бобрышев, С. Э. Вершинина // Вестник ИрГТУ. – 2014. – № 12 (95). – С. 103–106.
- Мулендеева, А. В. Проектирование экологического каркаса Чебоксарского городского округа / А. В. Мулендеева, И. В. Никонорова // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 4. – С. 162–167.
- Климанова, О. А. Экологический каркас крупнейших городов Российской Федерации: современная структура, территориальное планирование и проблемы развития / О. В. Климанова, Е. Ю. Колбовский, О. А. Илларионова // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. – 2018. – Т. 63, вып. 2. – С. 127–146.
- Мулендеева А. В. Ландшафтная дифференциация береговой зоны малых рек г. Чебоксары (на примере рек Чебоксарка и Кукшум) [Электронный ресурс] / А. В. Мулендеева, Н. Г. Караганова, И. В. Никонорова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=13720>. – Дата доступа: 15.05.2019.
- Шевцова, Е. Особенности экологического каркаса города Курска / Е. Шевцова, О. Лукашова // Естественные и математические науки в современном мире : сб. ст. по материалам XIV Междунар. науч.-практ. конф. – № 1 (13). – Новосибирск : СиБАК, 2014. – С. 126–130.
- Бевз, В. Н. Факторы развития и общие признаки бассейновых динамико-генетических склоновых ландшафтов / В. Н. Бевз // Вестник ВГУ. Сер. География, Геоэкология. – 2005. – № 1. – С. 34–42.
- Городская среда: геоэкологические аспекты / В. С. Хомич [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2013.
- Низовцев, В. А. Ландшафтный подход в создании природно-экологического каркаса Москвы / В. А. Низовцев, Н. М. Эрман // Экология речных бассейнов : труды 8-й Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. проф. Т. А. Трифоновой ; Владим. гос. ун-т. им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир, 2016. – С. 144–148.
- Казаков Л. К. Ландшафтование с основами ландшафтного планирования. – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 336 с.

References

- Yemel'yanova O. V., Goroshko N. V., Migautina O. V. Yel'tsovka-1 kak odin iz opredelyayushchikh elementov ekologicheskogo karkasa gorodov [Yeltsovka-1 as one of the defining elements of the ecological framework of cities]. Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika = Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Applied ecology. Urbanism, 2017, no. 3, pp. 55–71. (in Russian)
- Zborovskaya M. I. Zimnyukov V. A., Kozimirov N. Yu. Znacheniye vodnykh ob'yektor v formirovani ekologicheskogo karkasa urbanizirovannoy territorii [The value of water bodies in the ecological framework formation of urbanized territory]. Ekologicheskiye i biologicheskiye sistemy = Ecological and biological systems, Moscow, 2015, Vol. 20. Ecological studies, hazards, solutions. pp. 20–23. (in Russian)
- Nikitin A. V., Mingazova N. M. Struktura ekologicheskogo karkasa goroda Kazani [The ecological frame structure of the Kazan city]. Ekologicheskiy konsalting = Environmental consulting, 2012, no. 4 (48), pp. 15–18. (in Russian)
- Volshaniк V. V., Suzdaleva A. A. Klassifikatsiya gorodskikh vodnykh ob'yektor [Classification of urban water bodies]. Moscow, DIA Publishing House, 2008, 112 p. (in Russian)
- Kadatskaya O. V., Sanets E. V., Aucharova A. P. Gidrograficheskaya set' urbanizirovannykh territoriy kak element formirovaniya prirodnogo karkasa goroda [Hydrographic network of urban areas as an element of the natural frame formation of the city]. Materialy VI Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Sovremennyye problemy land-

- shaftovedeniya i geoekologii (k 110-letiyu so dnya rozhdeniya professora V. A. Dement'yeva)» [Proc. VI Int. Sci. Conf. 'Modern Problems of Landscape Science and Geoecology (on the 110th anniversary of the birth of Professor V. A. Dementyev)']. Minsk, BSU, 2018, pp. 194–196. (in Russian)*
6. Bobryshev D. V., Vershinina S. E. *Integratsiya pribrezhnykh territoriy v funktsional'no-planirovochnuyu strukturu goroda kak neobkhodimoye usloviye ikh ustoychivogo razvitiya* [Integration of coastal areas in the functional planning structure of the city as a necessary condition for their sustainable development]. *Vestnik IrGTU = Bulletin of ISTU*, 2014, no. 12 (95), pp. 103–106. (in Russian)
7. Mulendeyeva A. V., Nikonorova I. V. *Projektirovaniye ekologicheskogo karkasa Cheboksarskogo gorodskogo okruga* [Designing the ecological frame of the Cheboksary urban district]. *Uspekhi sovremennoy yestestvoznaniya = Successes of modern natural science*, 2016, no. 4, pp. 162–167. (in Russian)
8. Klimanova O. A., Kolbovskiy Ye. Yu., Illarionova O. A. *Ekologicheskiy karkas krupneyshikh gorodov Rossiyskoy Federatsii: sovremennaya struktura, territorial'noye planirovaniye i problemy razvitiya* [Ecological framework of the largest cities of the Russian Federation: modern structure, territorial planning and development problems]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle = Bulletin of St. Petersburg University. Earth sciences*, 2018, Vol. 63, Issue 2, pp. 127–146. (in Russian).
9. Mulendeyeva A. V., Karaganova N. G., Nikonorova I. V. *Landshaftnaya differentsiatsiya beregovoy zony malykh rek g. Cheboksary (na primere rek Cheboksarka i Kukshum)* [Landscape differentiation of the coastal zone of small rivers in Cheboksary (on the example of the Cheboksarka and Kukshum rivers)]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya = Modern problems of science and education*, 2014, no. 3. Available at : <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=13720> (accessed : 15.05.2019). (in Russian)
10. Shevtsova Ye., Lukashova O. *Osobennosti ekologicheskogo karkasa goroda Kurska* [Features of the ecological framework of the Kursk city]. *Yestestvennyye i matematicheskiye nauki v sovremennom mire: sb. st. po mater. XIV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Proc. XIV Int. Sci.-pract. Conf. 'Natural and mathematical sciences in the modern world', no. 1 (13), pp. 126–130. Novosibirsk, SibAK Publ. (in Russian)]
11. Bevz V. N. *Faktory razvitiya i obshchiye priznaki basseynovykh dinamiko-geneticheskikh sklonovykh landshaftov* [Development factors and common features of basin dynamic genetic slope landscapes]. *Vestnik VGU. Seriya «Geografiya, Geoekologiya» = Bulletin of VSU. Series «Geography, Geoecology»*, 2005, no. 11, pp. 34–42. (in Russian)
12. Khomich V. S. et al. *Gorodskaya sreda: geoekologicheskiye aspeky* [Urban environment: geoecological aspects]. Minsk, 2013. (in Russian)
13. Nizovtsev V. A., Erman N. M. *Landshaftnyy podkhod v sozdaniy prirodno-ekologicheskogo karkasa Moskvy* [Landscape approach in creating the natural-ecological framework of Moscow]. *Trudy 8-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Ekologiya rechnykh basseynov»* [Proc. 8th Int. Sci.-pract. Conf. 'Ecology of river basins']. Vladimir, 2016, pp. 144–148. (in Russian)
14. Kazakov L. K. *Landshaftovedeniye s osnovami landshaftnogo planirovaniya* [Landscape science with the basics of landscape planning]. Moscow, 2007, 336 p. (in Russian)

Информация об авторах

Кадацкая Ольга Владимировна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: olga-kad@rambler.ru

Санец Елена Васильевна – кандидат географических наук, заведующий лабораторией оптимизации геосистем, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: elena-sanets@yandex.by

Овчарова Елена Петровна – кандидат географических наук, научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: geosystem1@rambler.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., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: olga-kad@rambler.ru

Elena V. Sanets – Ph. D. (Geography), Head of Laboratory of Geosystems Optimization, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: elena-sanets@yandex.by

Alena P. Aucharova – Ph. D. (Geography), Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: geosystem1@rambler.ru

СОСТОЯНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ ВОДНО-ЗЕЛЕННОГО ДИАМЕТРА г. МИНСКА КАК ИНДИКАТОР АТМОТЕХНОГЕННЫХ НАГРУЗОК

Е. В. Санец, Г. М. Бокая

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. В статье представлены результаты опробования и химического анализа снежного покрова на территории водно-зеленого диаметра (ВЗД) г. Минска в пределах существующей и перспективной городской черты, выполненного в зимний период 2018–2019 гг. В пробах снежного покрова определялось содержание основных ионов, соединений азота, тяжелых металлов, кислотность, общая минерализация, удельная электропроводность. На основании данных о высоте снежного покрова и времени его устойчивого залегания рассчитана интенсивность атмосферных выпадений анализируемых веществ.

Установлено относительно невысокое содержание большинства исследуемых компонентов в снежном покрове на территории ВЗД, сопровождающееся, тем не менее, трансформацией ионного состава сугенических вод и перехода его в азональный тип, характеризующийся высоким содержанием хлоридов и натрия (в среднем соответственно 52,3 и 29,9 %-экв), что обусловлено поступлением компонентов противогололедных солевых смесей.

Анализ пространственных различий в интенсивности атмосферных выпадений и расчет коэффициента аномальности выпадений для каждой точки опробования позволил выявить вещества, специфические для той или иной части обследуемой территории, и получить представление о характере источников воздействия на различные части ВЗД.

Ключевые слова: водно-зеленый диаметр; снежный покров; основные ионы; биогенные элементы; тяжелые металлы; атмосферные выпадения.

Для цитирования. Санец Е. В., Бокая Г. М. Состояние снежного покрова на территории водно-зеленого диаметра г. Минска как индикатор атмосферных нагрузок // Природопользование. – 2020. – № 1. – С. 48–62.

THE STATE OF SNOW COVER ON THE TERRITORY OF WATER-GREEN DIAMETER OF MINSK AS AN INDICATOR OF ATMOTECHNOGENIC LOADS

E. V. Sanets, H. M. Bokaya

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

Abstract. The article presents the results of testing and chemical analysis of snow cover on the territory of water-green diameter (WGD) of Minsk within the existing and perspective city border, performed in the winter period of 2018–2019. The content of basic ions, nitrogen compounds, heavy metals, acidity, general mineralization and electrical conductivity were determined in snow cover samples. Based on the data of snow cover height and the time of snow cover steadiness, the intensity of atmospheric deposition of the analyzed substances was calculated.

A relatively low content of the majority of studied components in snow cover on the territory of WGD was found. This situation nevertheless was accompanied by the transformation of the ionic composition of snow water and its transition to the azonal type with a high content of chlorides and sodium (52,3 and 29,9 %-eqv on the average). A high content of chlorides and sodium is due to the influx of components of anti-icing salt mixtures.

An analysis of spatial differences in the intensity of atmospheric deposition and calculation of the coefficient of abnormality of deposition for each sampling point made it possible to identify substances specific to a particular part of the study area and to get an idea of the nature of the sources of exposure to different parts of the WGD.

Keywords: water-green diameter; snow cover; core ions; nutrients; heavy metals; atmospheric deposition.

For citation. Sanets E. V., Bokaya G. M. The state of snow cover on the territory of water-green diameter of Minsk as an indicator of atmotechnogenic loads. *Nature Management*, 2020, no. 1, pp. 48–62.

Введение. Изучение химического состава снежного покрова является удобным и экономичным способом получения информации о поступлении загрязняющих веществ из атмосферы на подстилающую поверхность. Особый интерес снежный покров представляет, когда необходимо оценить атмосферные нагрузки на какую-либо территорию без использования моделирования атмосферных выпадений. Представляя собой естественный планшет-накопитель, снежный покров дает весьма точное представление о суммарном количестве влажных и сухих атмосферных выпадений загрязняющих

веществ в холодный сезон года, позволяет оценить их интенсивность и общую массу поступления поллютантов на подстилающую поверхность.

Сотрудниками Института природопользования НАН Беларуси на протяжении ряда лет ведется изучение химического состава снежного покрова в г. Минске и в других регионах Беларуси [1–6 и др.]. Представленные в данной статье результаты получены в рамках оценки состояния природных комплексов водно-зеленого диаметра (ВЗД) г. Минска в границах существующей и перспективной городской черты, выполнившейся при разработке Схемы градостроительного развития ВЗД г. Минска и проекта зон охраны объектов историко-культурного наследия по заданию УП «Минскградо» в 2019 г.

Цель исследования – оценить атмосферные нагрузки загрязняющих веществ на территорию ВЗД г. Минска.

Водно-зеленый диаметр г. Минска – уникальный градостроительный комплекс, созданный в 1950–70-е годы в результате архитектурно-ландшафтного преобразования поймы р. Свислочи. Включает в себя р. Свислочь, расположенные на ней водохранилища, а также систему зеленых зон (парков, скверов, бульваров) по берегам реки и водохранилищ. ВЗД широкой полосой пересекает город с северо-запада на юго-восток, является одним из главных планировочных стержней города, активно используется населением для отдыха и рекреации, обладает культурно-исторической ценностью.

Методика исследования. Основные положения методики опробования и анализа снежного покрова изложены в работах [7–9]. Для отбора проб использовали стандартный весовой снегомер ВС-43, позволяющий проводить отбор снежных кернов высотой от 30 до 600 мм с погрешностью ± 10 мм. Техника пробоотбора состояла в срезе керна снега на всю глубину снежного покрова до основания его залегания. Полученный керн, очищенный от остатков почвы и/или растительности в основании трубы, помещали в пластиковый пакет, при этом фиксировали высоту отобранных кернов и общую массу полученной пробы снега. Число отобранных кернов определялось необходимостью получения пробы снега общей массой 2,5–3,0 кг, достаточной для получения объема талой воды не менее 2,5 л, необходимой для проведения общего гидрохимического анализа и определения концентраций основных тяжелых металлов.

Отобранные пробы транспортировали в лабораторию, где при комнатной температуре проводили их растапливание с последующим фильтрованием для отделения твердой фракции пробы (взвешенных веществ). В жидкой фракции с помощью утвержденных методик выполнения измерений определяли кислотность (рН), удельную электропроводность, общую минерализацию, содержание основных ионов (гидрокарбонатов, сульфатов, хлоридов, кальция, магния, калия, натрия), биогенных элементов (азота нитратного, азота нитритного, азота аммонийного) и тяжелых металлов (кадмия, свинца, меди, цинка, никеля, марганца).

На основании данных о высоте отобранных кернов, массе проб снега, содержании химических веществ в нем, времени залегания снежного покрова для каждой точки опробования рассчитывали среднюю высоту снежного покрова, запас исследуемых химических веществ в снежном покрове и интенсивность их атмосферных выпадений по методикам В. Н. Василенко [7] и Т. В. Беликовой [10]. Зимой 2018/19 гг. устойчивый снежный покров в Минске установился к концу второй–началу третьей декады декабря, поэтому за начало его залегания принята дата 20 декабря. Учитывая весьма нестабильные погодные условия в январе–феврале 2019 г. (колебания температуры воздуха, частые оттепели), опробование снежного покрова на территории ВЗД проводили в два этапа: 1) 31.01–01.02.2019 – накануне продолжительной оттепели; 2) 20.02–23.02.2019 – перед началом снеготаяния.

Для характеристики состояния снежного покрова и особенностей пространственного распределения атмосферных выпадений загрязняющих веществ в пределах исследуемой территории использовали такие параметры, как:

- абсолютное содержание (концентрация) вещества в снежном покрове ($\text{мг}/\text{дм}^3$, $\text{мкг}/\text{дм}^3$);
- относительное содержание вещества в снежном покрове (%-экв);
- интенсивность атмосферных выпадений вещества на подстилающую поверхность ($\text{мг}/\text{м}^2$ в месяц, $\text{мкг}/\text{м}^2$ в месяц);
- коэффициент аномальности (K_a) интенсивности атмосферных выпадений вещества, характеризующий отличие конкретной точки опробования от обследуемой территории в целом и рассчитываемый по формуле

$$K_a = \frac{I_i}{I_{cp}},$$

где I_i – интенсивность выпадения вещества в конкретной точке, $\text{мг}(\text{мкг})/\text{м}^2$ в месяц; I_{cp} – средняя интенсивность выпадения вещества для всей обследуемой территории, $\text{мг}(\text{мкг})/\text{м}^2$ в месяц;

– суммарный коэффициент аномальности по группе веществ, рассчитываемый как среднее арифметическое из коэффициентов аномальности для отдельных веществ, входящих в группу.

Сеть опробования снежного покрова выстраивали таким образом, чтобы при минимальном числе точек получить наиболее представительную выборку для пространственного анализа выпадений в

пределах предварительно выделенных границ ВЗД на территории города и в границах перспективной городской черты. На территории существующей городской черты было отобрано 17 проб снега, на территории перспективной городской черты (территория, примыкающая к Заславскому вдхр. за пределами Минской кольцевой автомобильной дороги (МКАД)) – 7 (рис. 1). Исходя из общей площади территории в пределах предварительно выделенных границ ВЗД в 38,9 км², одна проба была отобрана на 1,6 км² площади, что дает возможность получить общее представление об атмосферных нагрузках на ВЗД в целом и об их пространственных различиях в пределах рассматриваемой территории.

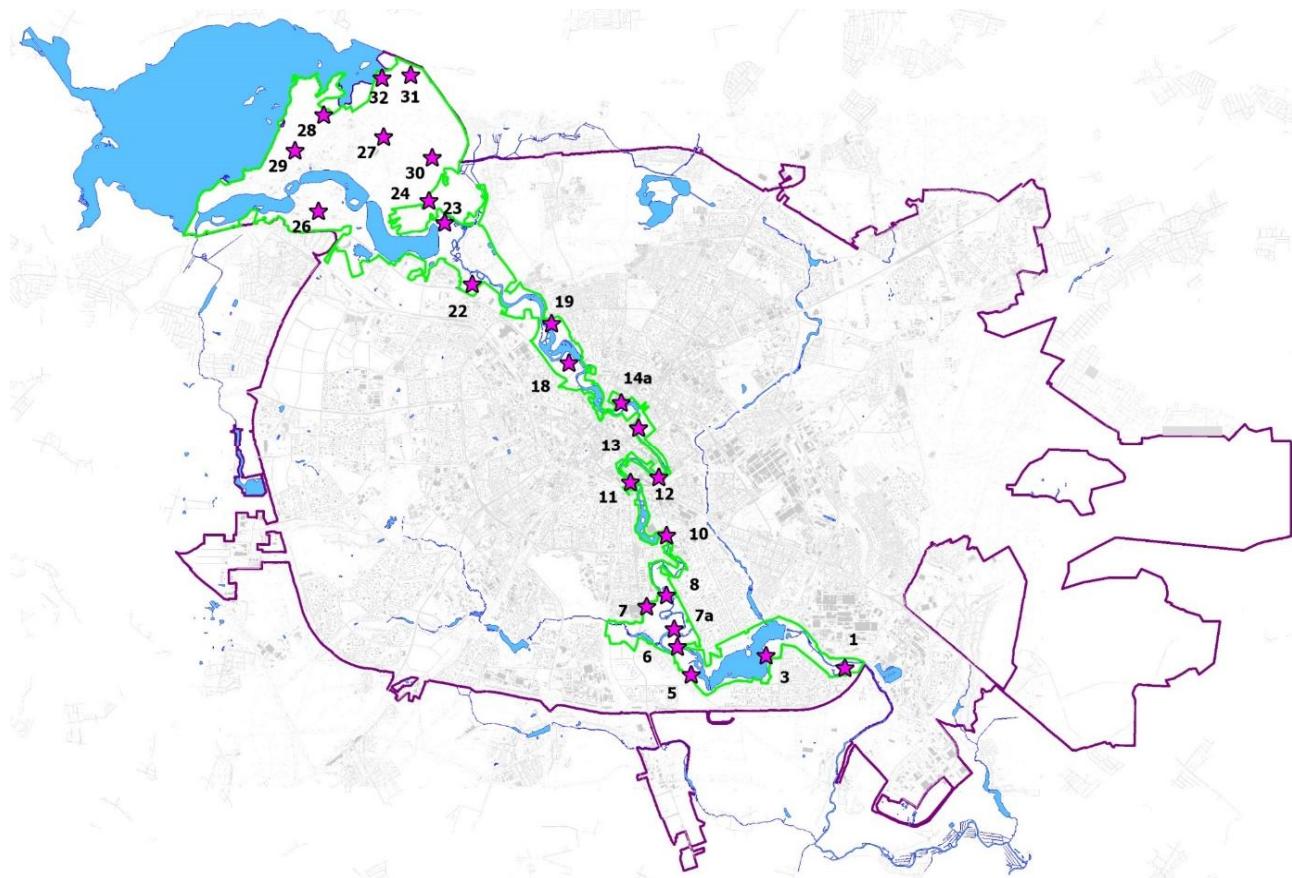


Рис. 1. Схема расположения точек опробования снежного покрова на территории водно-зеленого диаметра г. Минска в пределах существующей и перспективной городской черты, 2019 г.

Fig. 1. Layout of snow cover testing points on the territory of water-green diameter of Minsk within the existing and perspective city border, 2019

Площадки опробования размещали не ближе 25 м от проезжей части улиц, в местах, в наименьшей степени подверженных разеванию снежного покрова или наметанию сугробов, но открытых для свободного осаждения снега (не под деревьями). Предпочтение отдавали местам, где случайные загрязнения снежного покрова минимальны. Измерения и расчеты показывают, что на момент опробования снежного покрова его высота изменялась в пределах 7,1–31,4 см, составляя в среднем 19,4 см. Время залегания – от 43 до 66 суток. Наибольшая высота снежного покрова была характерна для южной части ВЗД в пределах резервных территорий природного комплекса (точки 1, 5, 11), а также Лошицкого усадебно-паркового комплекса (точки 7, 7а) (рис. 2).

Результаты исследования. В табл. 1 представлены основные статистические параметры содержания главных ионов, биогенных элементов и взвешенных веществ в снежном покрове на территории ВЗД г. Минска, общей минерализации, удельной электропроводности и кислотности снежного покрова. В табл. 2 – основные статистические параметры интенсивности атмосферных выпадений главных ионов и загрязняющих веществ.

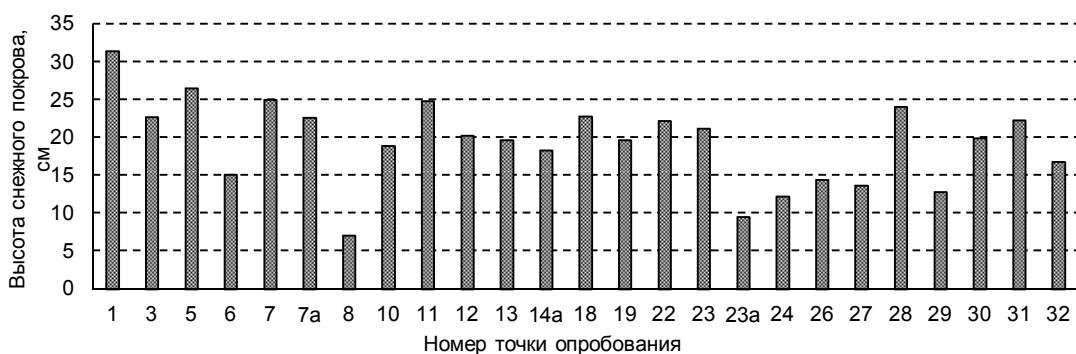


Рис. 2. Высота снежного покрова на территории водно-зеленого диаметра г. Минска в пределах существующей и перспективной городской черты, 2019 г.

Fig. 2. Snow cover height on the territory of water-green diameter of Minsk within the existing and prospective city border, 2019

Таблица 1. Основные статистические параметры химического состава снежного покрова на территории водно-зеленого диаметра г. Минска в пределах существующей и перспективной городской черты, 2019 г.

Table 1. The main statistical parameters of the chemical composition of snow cover on the territory of water-green diameter of Minsk within the existing and prospective city border, 2019

Параметр	pH	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	$\text{NO}_3^- (\text{N})$	$\text{NO}_2^- (\text{N})$	$\text{NH}_4^+ (\text{N})$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Взвешенные вещества	Минерализация	Уд. электропроводность, мкСм/см
Минимум, мг/дм ³	4,70	н.о.	1,31	0,52	0,024	0,001	0,078	0,78	0,47	0,35	0,2	29,3	7,74	15,7
Максимум, мг/дм ³	6,38	9,76	9,61	2,23	0,668	0,112	0,241	2,33	0,94	4,5	1,05	88,1	22,12	44,6
Среднее, мг/дм ³	5,83	4,32	4,19	1,41	0,140	0,013	0,107	1,53	0,63	1,68	0,44	44,22	14,38	28,99
Медиана, мг/дм ³	5,90	4,88	3,56	1,71	0,094	0,001	0,078	1,56	0,47	1,20	0,40	40,10	14,82	29,30
Стандартное отклонение, мг/дм ³	0,37	2,39	2,12	0,69	0,140	0,028	0,051	0,54	0,23	1,21	0,20	12,68	4,07	9,94
Коэффициент вариации, %	6	55	51	49	99	214	48	35	36	72	46	29	28	34
Стандартная ошибка, мг/дм ³	0,07	0,49	0,43	0,21	0,028	0,006	0,010	0,11	0,05	0,25	0,04	2,59	0,83	2,03

Общая минерализация снежного покрова на территории ВЗД изменялась от 7,74 до 22,12 мг/дм³, составляя в среднем 14,38 мг/дм³. При этом 13 из отобранных 24 проб характеризовались малой минерализацией (до 15,0 мг/дм³), 11 – средней минерализацией (от 15,0 до 30,0 мг/дм³). Пробы с повышенной (от 30,0 до 50,0 мг/дм³) и высокой (более 50,0 мг/дм³) минерализацией отсутствовали (согласно классификации, используемой в Национальной системе мониторинга окружающей среды Республики Беларусь (НСМОС)).

Минимальная минерализация (7,74 мг/дм³) характерна для пробы № 24, отобранной на юго-восточной окраине лесного массива к северу от вдхр. Дрозды (рис. 3). Химический состав снежного покрова для данной пробы принят за условно-фоновый для территории ВЗД.

Таблица 2. Основные статистические параметры интенсивности атмосферных выпадений главных ионов и загрязняющих веществ на территории водно-зеленого диаметра г. Минска в пределах существующей и перспективной городской черты, 2019 г.

Table 2. The main statistical parameters of the atmospheric deposition of the core ions and pollutants on the territory of water-green diameter of Minsk within the existing and prospective city border, 2019

Параметр	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	$\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- (\text{N})$	$\text{NH}_4^+ (\text{N})$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Взвешенные вещества
Минимум, мг/м ² /месяц	0,0	27,6	7,4	0,4	1,2	11,5	7,0	5,2	3,0	545,1
Максимум, мг/м ² /месяц	340,5	277,8	74,1	24,6	9,0	108,5	50,6	130,1	24,3	4098,5
Среднее, мг/м ² /месяц	130,0	128,9	28,2	4,6	3,1	47,0	18,6	53,7	12,8	1317,4
Медиана, мг/м ² /месяц	90,6	140,2	16,8	2,9	2,6	47,6	15,8	46,6	11,3	1128,8
Стандартное отклонение, мг/м ² /месяц	97,2	78,9	23,3	5,1	1,7	27,4	10,2	42,3	6,2	730,7
Коэффициент вариации, %	75	61	83	112	57	58	55	79	48	55
Стандартная ошибка, мг/м ² /месяц	19,8	16,1	4,8	1,1	0,4	5,6	2,1	8,6	1,3	149,2

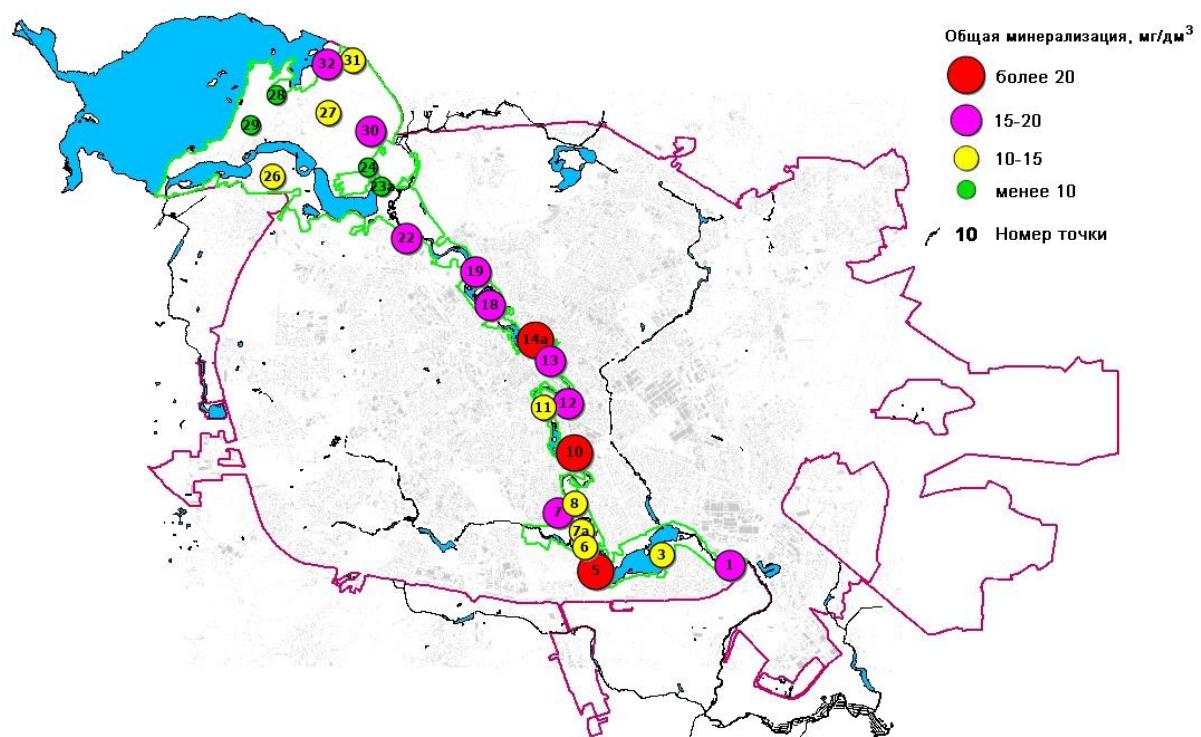


Рис. 3. Картосхема пространственного распределения общей минерализации снежного покрова на территории водно-зеленого диаметра г. Минска в пределах существующей и перспективной городской черты, 2019 г.

Fig. 3. Spatial distribution of total mineralization of the snow cover on the territory of water-green diameter of Minsk within the existing and prospective city border, 2019

Максимальная минерализация ($22,12 \text{ мг}/\text{дм}^3$) характерна для пробы № 10, отобранный на левом берегу р. Свислочи в пределах резервной территории природного комплекса к юго-востоку от ТЭЦ-2.

Учитывая невысокие значения минерализации снежного покрова, можно говорить об отсутствии существенных атмосферных нагрузок и, соответственно, загрязнения территории ВЗД. Тем не менее анализ пространственных различий химического состава снежного покрова и интенсивности атмосферного осаждения отдельных химических веществ позволяет делать выводы о характере и вероятных источниках воздействия на ту или иную часть ВЗД.

Картосхема распределения значений минерализации снежного покрова (см. рис. 3) показывает, что малая минерализация характерна преимущественно для территорий лесных и парковых массивов, расположенных в северной и южной части ВЗД, и удаленных или экранированных от дорог с интенсивным движением транспорта. В центральной части ВЗД, а также на его севере и юге вблизи дорог с интенсивным движением минерализация снежного покрова увеличивается до значений, позволяющих отнести ее к категории средней ($15,0$ – $30,0 \text{ мг}/\text{дм}^3$).

Кислотность снежного покрова в пределах ВЗД изменялась от слабокислых значений (рН 4,70) до слабощелочных (6,38), составляя в среднем 5,83. Наиболее низкое значение рН характерно для пробы № 22, отобранный на перспективной озелененной территории общего пользования на правом берегу р. Свислочи ниже вдхр. Дрозды. Наиболее высокое – для пробы № 23а, отобранный в пределах озелененной территории общего пользования в Парке у вдхр. Дрозды.

Гидрокарбонаты являются естественным компонентом атмосферных осадков и, соответственно, снежного покрова. Среди техногенных факторов, влияющих на их концентрацию, следует упомянуть пылевое загрязнение атмосферы. Анализ химического состава снежного покрова на территории ВЗД г. Минска показал, что концентрации гидрокарбонатов в нем изменялись от значений ниже предела обнаружения (точка № 22) до $9,76 \text{ мг}/\text{дм}^3$ (точка № 5), составляя в среднем $4,32 \text{ мг}/\text{дм}^3$, что согласуется с их содержанием в атмосферных осадках по данным НСМОС (в 2017 г. – $3,25 \text{ мг}/\text{дм}^3$) [11].

Поскольку гидрокарбонаты не являются загрязняющим веществом, пространственное распределение их атмосферных выпадений не оценивали.

Кальций, магний и калий наряду с гидрокарбонатами являются типичными природными компонентами химического состава атмосферных осадков и снежного покрова. Увеличение их содержания в атмосферных осадках указывает на наличие либо техногенного источника эмиссии, как правило, производства, связанного с выбросами пыли, или крупного строительства, либо природного источника – чаще всего эрозии почв.

Опробование снежного покрова на территории ВЗД показало невысокое содержание данных компонентов в нем. Так, концентрация кальция варьировала в пределах $0,78$ – $2,33 \text{ мг}/\text{дм}^3$ при среднем значении $1,52 \text{ мг}/\text{дм}^3$; магния – $0,47$ – $0,94$ при среднем $0,63$; калия – $0,20$ – $1,05 \text{ мг}/\text{дм}^3$, составляя в среднем $0,44 \text{ мг}/\text{дм}^3$.

Поскольку кальций, магний и калий для снежного покрова г. Минска не являются загрязняющими веществами, пространственное распределение их атмосферных выпадений не оценивали.

Одним из основных компонентов атмосферных осадков являются **сульфаты**. В г. Минске в последние годы их содержание в осадках достаточно невелико. При этом в снежном покрове количество сульфатов снижается по сравнению с их количеством в осадках [3]. При опробовании снежного покрова на территории ВЗД в 13 пробах из 24 были выявлены концентрации сульфатов менее $0,50 \text{ мг}/\text{дм}^3$. В пространственном отношении точки опробования со столь низкими концентрациями расположены, главным образом, в южной (ниже водоема ТЭЦ-2) и в северной части ВЗД (Парк у вдхр. Дрозды и выше по течению). Для остальной территории среднее содержание сульфатов в снежном покрове составило $1,41 \text{ мг}/\text{дм}^3$. Самые высокие концентрации сульфатов в снежном покрове ($1,16$ – $2,23 \text{ мг}/\text{дм}^3$) характерны для центральной части города и точки № 28 на территории лесного массива возле Заславского вдхр. Этим же точкам присущи и наибольшие значения интенсивности атмосферных выпадений сульфатов – $33,5$ – $74,1 \text{ мг}/\text{м}^2$ в месяц.

Содержание **хлоридов** в атмосферных осадках в природно-климатических условиях Беларуси, как правило, не велико. При этом концентрации хлоридов выше фоновых значений являются типичными для воды городских водных объектов, что связано с использованием большого количества песчано-солевых противогололедных смесей в городах в зимнее время и их поступлением в реки и водоемы с поверхностным стоком талых сугенических вод [12, 13]. По данным мониторинга атмосферных осадков и снежного покрова, проводимого в рамках НСМОС, содержание хлоридов в снежном покрове в 2,5 раза превышает их содержание в атмосферных осадках [11]. Поскольку методика опробования снежного покрова исключает возможность попадания в пробу компонентов противогололедных смесей, вносимых непосредственно на дороги/тротуары/пешеходные дорожки, повышенное содержание хлоридов в снежном покрове, очевидно, обусловливается их ветровым переносом из мест внесе-

ния противогололедных смесей и сухим (гравитационным) атмосферным выпадением на подстилающую поверхность либо вымыванием из атмосферы осадками (солевые частицы в атмосфере могут также служить ядрами конденсации при формировании жидких или твердых атмосферных осадков).

Опробование снежного покрова на территории ВЗД также показало повышенное по сравнению с атмосферными осадками содержание хлоридов в нем. Концентрации хлоридов изменялись от 1,31 (точка № 28 на территории лесного массива у Заславского вдхр.) до 9,61 мг/дм³ (точка № 14а – Парк им. М. Казея), составляя в среднем 4,19 мг/дм³. При этом самые высокие концентрации хлоридов характерны для центральной части ВЗД – от точки № 10 до точки № 22 (4,62–9,61 мг/дм³), что может объясняться тем, что в центральной части города противогололедные смеси используются в больших объемах.

Для центральной части ВЗД (от точки № 12 до точки № 22) характерна и повышенная интенсивность атмосферных выпадений хлоридов – 176,2–277,8 мг/м² в месяц. Высокая интенсивность выпадений хлоридов характерна также для точек № 1 и 7 (204,1 и 211,9 мг/м² в месяц соответственно), расположенных вблизи крупных автодорог.

Вторым компонентом противогололедных смесей является **натрий**. По данным мониторинга НСМОС, его концентрация в снежном покрове в 6 раз превышает содержание в атмосферных осадках [11]. Опробование снежного покрова на территории ВЗД показало достаточно большой разброс значений концентраций натрия – от 0,35 (точка № 23а – Парк у вдхр. Дрозды) до 4,50 мг/дм³ (точка № 14а – Парк им. М. Казея) при среднем значении 1,68 мг/дм³.

Пространственное распределение атмосферных выпадений натрия в целом согласуется с таким для хлоридов, что подтверждает наличие общего источника поступления. Максимальная интенсивность выпадений характерна для центральной части ВЗД – 86,2–130,1 мг/м² в месяц, а также точек № 1 и 7 (101,9 и 116,3 мг/м² в месяц соответственно).

Содержание в снежном покрове **взвешенных веществ** и интенсивность их осаждения являются важными показателями, характеризующими воздействие, в первую очередь, со стороны транспорта, а также могут отражать различия природных (в первую очередь – почвенно-растительных) условий мест опробования. Анализ пространственного распределения интенсивности атмосферных выпадений взвешенных веществ показывает, что по данному показателю выделяется южная часть ВЗД от Лошицкого усадебно-паркового комплекса до МКАД (точки № 7, 7а, 5, 1).

Максимальные значения выпадений (более 4,0 г/м² в месяц) характерны для точки № 7 – Лошицкого усадебно-паркового комплекса вблизи ул. Маяковского. Также высокое значение выпадений взвешенных веществ наблюдается для точки № 1 (2,2 г/м² в месяц) недалеко от МКАД и крупного промышленного района Шабаны. Минимальные значения выпадений взвешенных веществ (менее 1,0 г/м³ в месяц) характерны для северной части ВЗД в перспективных границах города.

На основании расчета коэффициента аномальности для атмосферных выпадений хлоридов, натрия и взвешенных веществ выделены точки, для которых интенсивность атмосферных выпадений данных компонентов превышает среднее значение для обследуемой территории (рис. 4). Подобные точки практически отсутствуют в пределах перспективной городской черты, примыкающей к Заславскому вдхр. Исключение составляет точка № 30, расположенная вблизи МКАД, которая подвергается воздействию интенсивного движения транспорта, а также противогололедных смесей.

Территория ВЗД в пределах существующей городской черты вблизи дорог с интенсивным движением транспорта практически повсеместно подвержена воздействию, о чем свидетельствуют повышенные по сравнению со средним значением как концентрации хлоридов, натрия и взвешенных веществ в снежном покрове, так и величины атмосферных выпадений данных компонентов.

Биогенные вещества. Азот является типичным компонентом атмосферных осадков и наряду с соединениями серы – одним из закисляющих окружающую среду компонентов [14]. Атмосферные выпадения азота оцениваются раздельно для его окисленной формы (сумма нитратного и нитритного азота) и восстановленной формы (аммонийного азота). При этом окисленный азот в больших количествах встречается в атмосферных осадках природных территорий, не подверженных интенсивному техногенному воздействию (например, в Березинском биосферном заповеднике атмосферные осадки принадлежат к нитратно-сульфатному анионному классу воды [15], тогда как восстановленный азот – типичный компонент осадков в городах).

Анализ химического состава снежного покрова на территории ВЗД в г. Минске показал, с одной стороны, в среднем невысокие концентрации в нем соединений азота, с другой – существенный разброс их минимальных и максимальных значений. Так, содержание нитратного азота изменилось от 0,024 до 0,668 мгN/дм³, составляя в среднем 0,140 мгN/дм³; нитритного – от значений, близких к пределу обнаружения (0,001 мгN/дм³) до 0,112 мгN/дм³; аммонийного – от значений, близких к пределу обнаружения (0,078 мгN/дм³) до 0,241 мгN/дм³.

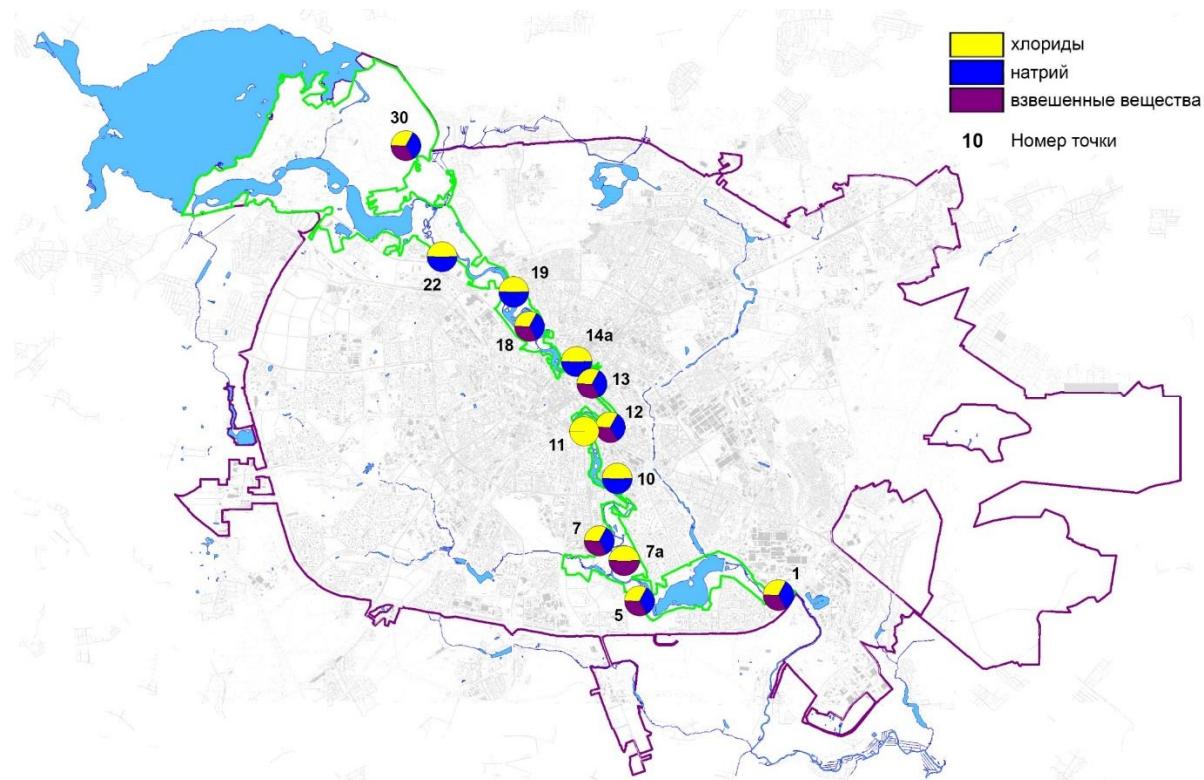


Рис. 4. Точки опробования снежного покрова на территории водно-зеленого диаметра г. Минска в пределах существующей и перспективной городской черты с $K_a > 1$ для атмосферных выпадений хлоридов, натрия и взвешенных веществ, 2019 г.

Fig. 4. Snow cover testing points on the territory of water-green diameter of Minsk within the existing and perspective city border with $K_a > 1$ for atmospheric deposition of chlorides, sodium and suspended solids, 2019

Пространственное распределение интенсивности атмосферных выпадений окисленного азота на территории ВЗД характеризуется некоторой мозаичностью. Максимальное значение выпадений ($24,6 \text{ мгN/m}^2$ в месяц) характерно для точки № 18 (Парк Победы). То же самое можно сказать и о выпадениях восстановленного азота, максимальная величина интенсивности которых ($9,0 \text{ мгN/m}^2$ в месяц) отмечена в точке № 11 (правый берег р. Свислочь по ул. Белорусской).

На основании расчета коэффициента аномальности для атмосферных выпадений соединений азота выделены точки, для которых интенсивность атмосферных выпадений данных компонентов превышает среднее значение для обследуемой территории (рис. 5). Интересно отметить, что точки с повышенной интенсивностью атмосферных выпадений восстановленного азота концентрируются преимущественно в южной части ВЗД (№ 1, 5, 7, 7а, 11), хотя отмечаются и в пределах перспективной городской черты (№ 28, 32). Точки с повышенной интенсивностью выпадений окисленного азота расположены вдоль всей территории ВЗД (№ 3, 11, 18, 22, 30, 28), хотя больше тяготеют к его центральной и северной частям.

Ионный состав снежного покрова и тип воды талых снеговых вод. Помимо оценки концентраций основных ионов в снежном покрове и интенсивности их атмосферных выпадений интерес представляет оценка их ионного состава, т. е. тех соотношений, в которых ионы находятся между собой, выраженных в процентно-эквивалентной форме [16]. Данное соотношение определяет тип воды (в данном случае талых снеговых вод) и позволяет судить о ее антропогенной трансформации. Как правило, в определенных природно-климатических условиях различные природные воды (поверхностные, подземные, атмосферные осадки) обладают определенным химическим составом и типом воды (зональным типом воды), любые отклонения от которого указывают на наличие либо крупного антропогенного источника загрязнения, либо природной геохимической аномалии.

В условиях Беларуси в городах атмосферные осадки, как правило, относятся к сульфатно-гидрокарбонатному (или гидрокарбонатному) аммонийно-кальциевому (или кальциевому) типу [15]. Для г. Минска в среднем также характерен сульфатно-гидрокарбонатный аммонийно-кальциевый тип воды атмосферных осадков.

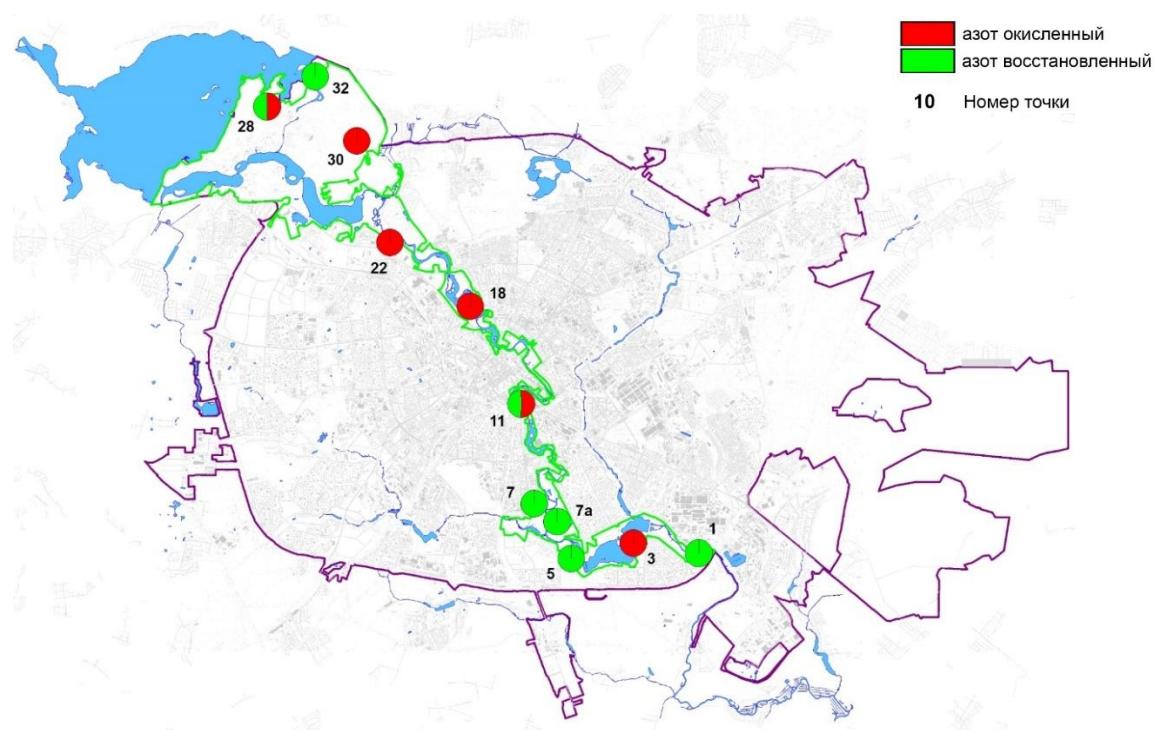
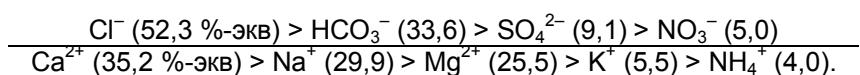


Рис. 5. Точки опробования снежного покрова на территории водно-зеленого диаметра г. Минска в пределах существующей и перспективной городской черты с $K_a > 1$ для атмосферных выпадений соединений азота, 2019 г.

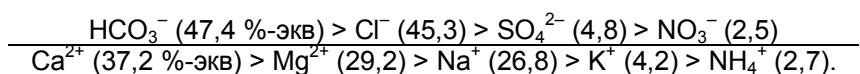
Fig. 5. Snow cover testing points on the territory of water-green diameter of Minsk within the existing and perspective city border with $K_a > 1$ for atmospheric deposition of nitrogen compounds, 2019

Анализ химического состава снежного покрова на территории ВЗД г. Минска показал, что для всех отобранных проб одним из доминирующих анионов является хлорид-ион. Для 17 проб тип талой снеговой воды определяют также гидрокарбонаты, а для точки № 28 – еще и сульфаты. В целом для территории ВЗД содержание хлоридов в снежном покрове существенно превышает содержание гидрокарбонатов, в 17 точках хлориды доминируют в анионном составе атмосферных осадков, определяя анионный класс воды как хлоридный или гидрокарбонатно-хлоридный. В целом для территории ВЗД талые снеговые воды характеризуются гидрокарбонатно-хлоридным магниево-натриево-кальциевым типом вод. Соотношение ионов имеет вид

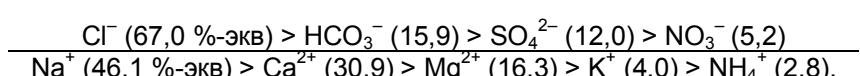


На рис. 6 представлены диаграммы, иллюстрирующие пространственные различия ионного состава снежного покрова на территории ВЗД.

Как видно из рис. 6, для юго-восточной части ВЗД от МКАД до ул. Аранской (точки № 1, 3, 5, 6, 7, 7а, 8, 10) в целом характерен хлоридно-гидрокарбонатный натриево-магниево-кальциевый тип талых снеговых вод. Соотношение ионов имеет вид



В центральной части ВЗД от ул. Аранской до ул. Орловской (точки № 11, 12, 13, 14а, 18, 19) в ионном составе талых снеговых вод резко возрастает содержание хлоридов и натрия. Тип вод – хлоридный кальциево-натриевый. Соотношение ионов имеет вид



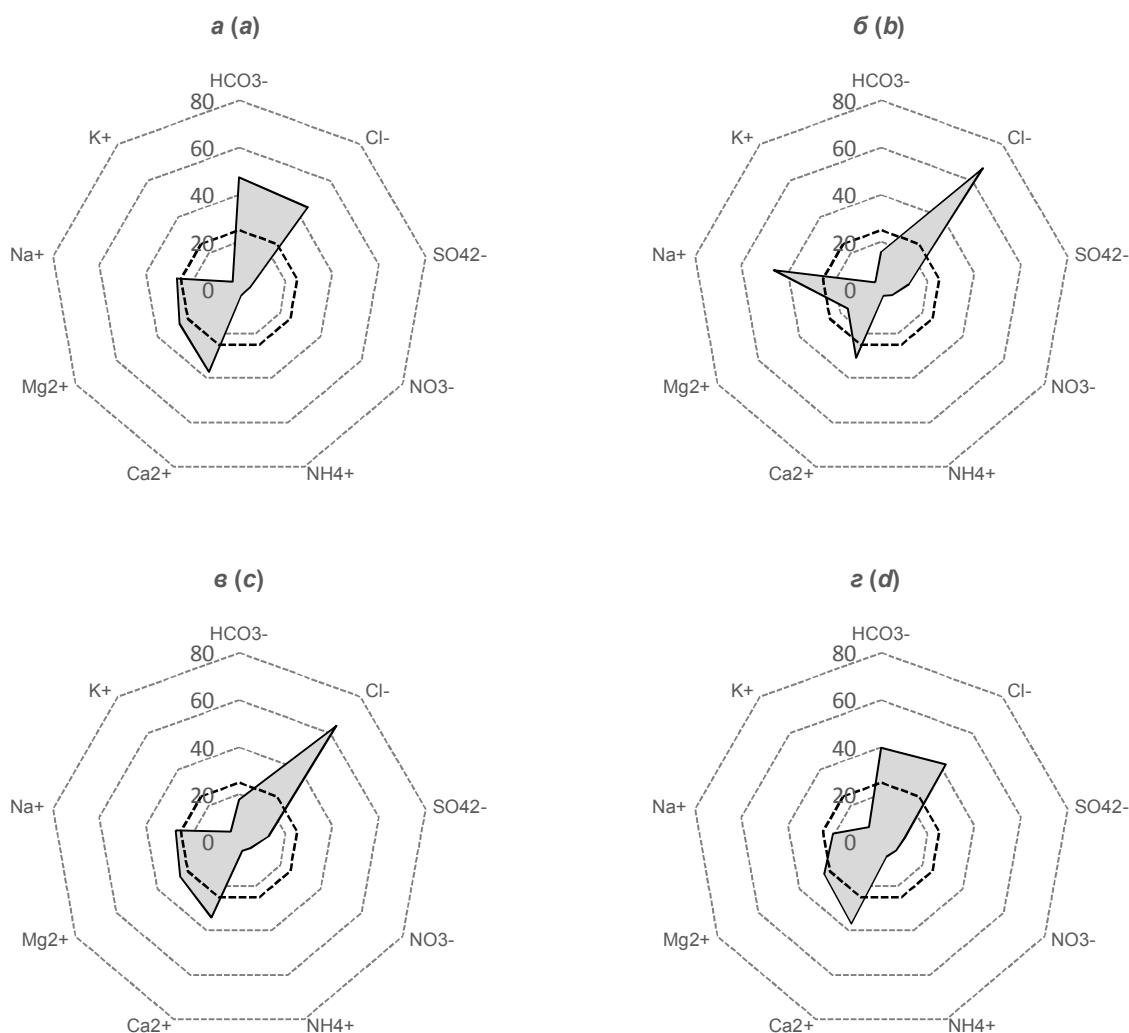


Рис. 6. Усредненный ионный состав талых снеговых вод на территории водно-зеленого диаметра г. Минска в пределах существующей (часть ВЗД: а – юго-восточная; б – центральная; в – северо-западная) и перспективной (г) городской черты, 2019 г., %-экв

Fig. 6. Average ionic composition of melt snow waters on the territory of water-green diameter of Minsk within the existing (part of WGD: a – southeast; b – central; c – northwest) and perspective (d) city border, 2019, %-eqv

Схожая ситуация характерна и для северо-западной части ВЗД от ул. Орловской до МКАД. Тип вод – хлоридный натриево-магниево-кальциевый. Соотношение ионов имеет вид

$$\frac{\text{Cl}^- (64,1 \text{ %-экв}) > \text{HCO}_3^- (17,9) > \text{SO}_4^{2-} (12,7) > \text{NO}_3^- (5,4)}{\text{Ca}^{2+} (34,1 \text{ %-экв}) > \text{Mg}^{2+} (28,9) > \text{Na}^+ (27,2) > \text{K}^+ (5,6) > \text{NH}_4^+ (4,1)}.$$

В пределах перспективной городской территории, примыкающей к Заславскому вдхр., для ионного состава талых снеговых вод в целом характерен гидрокарбонатно-хлоридный магниево-кальциевый тип вод. Соотношение ионов имеет вид

$$\frac{\text{Cl}^- (42,6 \text{ %-экв}) > \text{HCO}_3^- (39,8) > \text{SO}_4^{2-} (10,2) > \text{NO}_3^- (7,4)}{\text{Ca}^{2+} (36,9 \text{ %-экв}) > \text{Mg}^{2+} (27,7) > \text{Na}^+ (20,6) > \text{K}^+ (8,1) > \text{NH}_4^+ (6,6)}.$$

Тяжелые металлы. В пробах снежного покрова определялось содержание кадмия, свинца, меди, цинка, никеля и марганца – тяжелых металлов, типичных для городских территорий, где отсутствуют специфические техногенные источники поступления металлов в окружающую среду (предприятия черной и цветной металлургии, стекольной промышленности и т. п.).

В табл. 3 представлены основные статистические параметры содержания меди и цинка в снежном покрове и интенсивности их атмосферных выпадений на территории ВЗД г. Минска. Для кадмия, свинца, никеля и марганца указанные параметры не рассчитывали в связи с тем, что в 50 % и более проб содержание данных тяжелых металлов было ниже предела обнаружения.

Таблица 3. Основные статистические параметры содержания меди и цинка в снежном покрове и интенсивности их атмосферных выпадений на территории водно-зеленого диаметра г. Минска в пределах существующей и перспективной городской черты, 2019 г.

Table 3. The main statistical parameters of the content of copper and zinc in snow cover and their atmospheric deposition on the territory of water-green diameter of Minsk within the existing and prospective city border, 2019

Параметр	Содержание		Интенсивность атмосферных выпадений	
	мкг/дм ³		мкг/м ² /месяц	
	Cu	Zn	Cu	Zn
Минимум	0,90	5,55	14,8	101,1
Максимум	7,05	104,85	234,9	3981,3
Среднее	3,33	38,15	104,0	1247,9
Медиана	2,93	33,23	93,2	1001,9
Стандартное отклонение	1,75	30,64	66,8	1150,7
Стандартная ошибка	0,36	6,25	13,6	234,9
Коэффициент вариации, %	52	80	64	92

Медь. Была обнаружена в снежном покрове во всех точках опробования. Ее концентрация изменялась в пределах 0,90–7,05 мкг/дм³, составляя в среднем 3,33 мкг/дм³.

Для точек № 3, 7, 10, 11, 12, 14а и 19 содержание меди в снежном покрове составляет от 4,65 до 7,05 мкг/дм³, что близко либо превышает до 1,6 раза установленное природное фоновое содержание меди для воды р. Свислочи (4,5 мкг/дм³) [17]. Подобная ситуация указывает на то, что имеет место техногенное поступление меди в атмосферный воздух с последующим осаждением на подстилающую поверхность.

Интенсивность атмосферных выпадений меди для различных точек опробования колебалась от 14,8 до 234,9 мкг/м² в месяц при среднем значении 104,1 мкг/м² в месяц. Максимальная интенсивность выпадений зафиксирована для точки № 7 (Лошицкий усадебно-парковый комплекс). Интенсивность выпадений более 200,0 мкг/м² в месяц была также отмечена для точек № 14а и 19 в центральной части города. Интенсивность атмосферных выпадений выше средней для территории характерна для самой южной части ВЗД (точки № 1 и 3), Лошицкого усадебно-паркового комплекса (точки № 7 и 7а), а также всей центральной части города от точки № 10 до точки № 19.

Цинк. Содержание цинка в снежном покрове изменялось от 5,55 до 104,85 мкг/дм³, составляя в среднем 38,13 мкг/дм³.

Для всех точек опробования, расположенных в пределах существующей городской черты, концентрации цинка в снежном покрове превышают установленное природное фоновое содержание цинка для воды р. Свислочи (16,0 мкг/дм³) [17]. Превышение составляет от 1,4 до 6,6 раза, что указывает на наличие значимых источников поступления цинка в атмосферный воздух на территории города.

Интенсивность атмосферных выпадений цинка варьировала от 101,1 до 3981,3 мкг/м² в месяц при среднем значении 1247,9 мкг/м² в месяц. Максимальные значения (выше 3000,0 мкг/м² в месяц) характерны для точек № 3, 7 и 7а (Парк 900-летия Минска и Лошицкий усадебно-парковый комплекс). Интенсивность выпадений цинка выше среднего значения характерна для точек № 1, 3, 5, 6, 7, 7а, 8, 11, 12, 13, т. е. практически для всей южной части ВЗД до Парка им. Горького.

Кадмий. Для 17 точек опробования из 24 содержание кадмия в снежном покрове находилось на уровне предела обнаружения (0,5 мкг/дм³) или было ниже него. Для оставшихся 7 точек среднее содержание кадмия составило 0,76 мкг/дм³, пределы изменения – 0,55–0,90 мкг/дм³.

Для расчета интенсивности атмосферных выпадений кадмия, свинца, никеля и марганца в точках, где их содержание в снежном покрове находилось на уровне или ниже предела обнаружения, использовалась концентрация предела обнаружения. С учетом этого интенсивность атмосферных выпадений кадмия изменялась от 8,1 до 31,0 мкг/м² в месяц, составляя в среднем 17,3 мкг/м² в месяц. Значения интенсивности выпадений выше среднего были характерны для точек № 1, 3, 7, 7а, 11, 18, т. е. расположенных в южной части ВЗД. Максимальные уровни выпадений характерны для точек № 3, 7 и 7а (более 30,0 мкг/м² в месяц).

Свинец. Для 12 точек опробования содержание свинца в снежном покрове, как и в случае с кадмием, находилось на уровне предела обнаружения или было ниже него (0,5 мкг/дм³). Для осталь-

ных точек опробования концентрации изменялись от 0,52 до 4,10 мг/дм³ при среднем значении 1,36 мг/дм³.

Интенсивность атмосферных выпадений свинца варьировала в достаточно широких пределах – от 8,1 до 219,9 мкг/м² в месяц, составляя в среднем 32,4 мкг/м² в месяц. Максимальные уровни выпадений – 219,9 и 105,7 мкг/м² в месяц – были характерны для точек № 1 и 3 соответственно, расположенных вблизи автодорог с интенсивным движением транспорта и промышленной зоны. Интенсивность атмосферных выпадений свинца выше среднего значения была характерна также для точек № 5, 6, 7а и 28, т.е. также главным образом в южной части ВЗД.

Никель. В 13 точках из 24 содержание никеля в снежном покрове находится ниже или на уровне предела обнаружения. В остальных 11 точках средняя концентрация никеля составляет 0,96 мкг/дм³, изменяясь в пределах 0,60–1,45 мкг/дм³.

Интенсивность атмосферных выпадений никеля изменялась от 8,1 до 58,2 мкг/м² в месяц, составляя в среднем 22,5 мкг/м² в месяц. Максимальные уровни атмосферных выпадений никеля зафиксированы в Лошицком усадебно-парковом комплексе (точки 7 и 7а). Выше среднего значения атмосферные выпадения никеля установлены для точек № 1, 3, 5, 6, 7, 7а, 11, 12, 13, т. е. для южной части ВЗД и центра города.

Марганец. Для 18 точек из 24 марганец в снежном покрове находится в концентрациях на уровне или ниже предела обнаружения (0,5 мкг/дм³). Для остальных шести точек его средняя концентрация составляет 7,23 мкг/дм³, минимальная – 1,84, максимальная – 16,55 мкг/дм³.

Интенсивность атмосферных выпадений марганца изменялась от 8,1 до 340,3 мкг/м² в месяц при среднем значении 53,9 мкг/м² в месяц. Максимальные значения интенсивности выпадений были выявлены на территории перспективной городской черты, примыкающей к Заславскому вдхр. (точки № 31 и 32). Высокие уровни выпадений (выше 100,0 мкг/м² в месяц) характерны также для точек № 1 и 3. Выше среднего значения уровень атмосферных выпадений марганца выявлен для точек 1, 3, 8, 23, 31 и 32. Причем для точек 23, 31 и 32 марганец является единственным тяжелым металлом, атмосферные выпадения которого превышают среднее значение.

Результаты расчетов коэффициентов аномальности интенсивности атмосферных выпадений исследуемых тяжелых металлов представлены на картосхеме на рис. 7

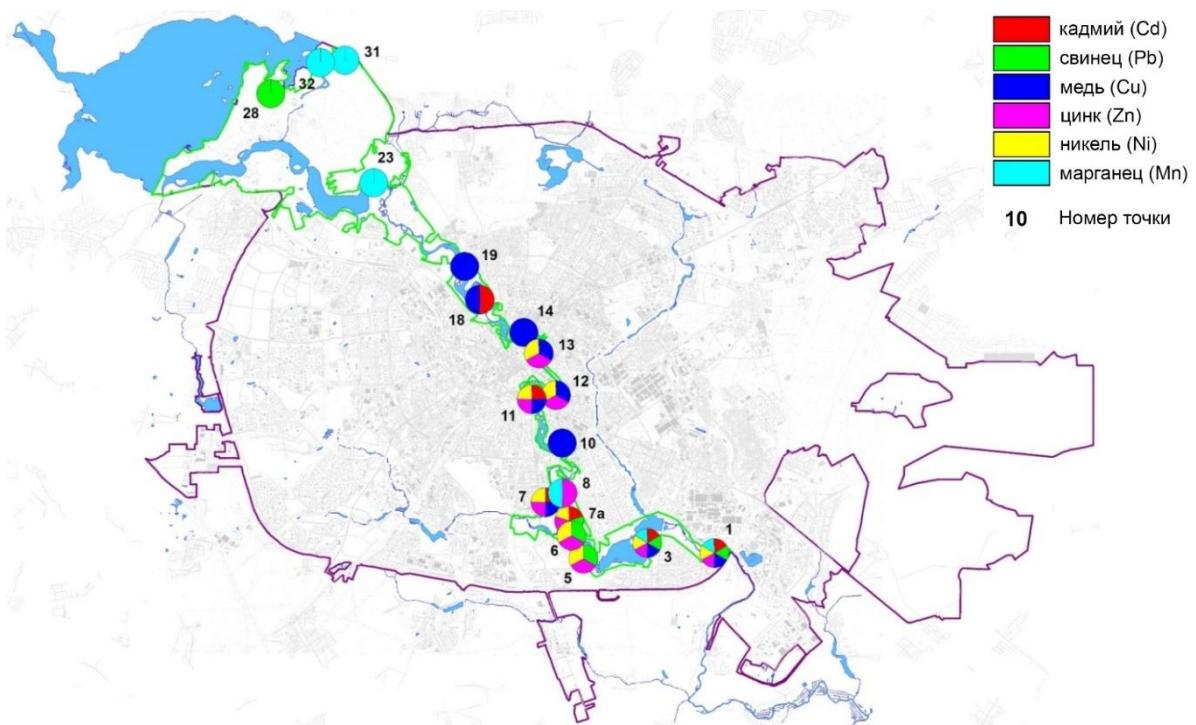


Рис. 7. Точки опробования снежного покрова на территории водно-зеленого диаметра г. Минска в пределах существующей и перспективной городской черты с $K_a > 1$ для атмосферных выпадений тяжелых металлов, 2019 г.

Fig. 7. Snow cover testing points on the territory of water-green diameter of Minsk within the existing and perspective city border with $K_a > 1$ for atmospheric deposition of heavy metals, 2019

Для группы из шести тяжелых металлов был рассчитан суммарный коэффициент аномальности интенсивности атмосферных выпадений для каждой точки. По суммарному коэффициенту аномальности выделяются:

- точка 1: суммарный коэффициент аномальности – 2,6
(превышены коэффициенты для Cd, Pb, Cu, Zn, Ni, Mn);
- точка 3: суммарный коэффициент аномальности – 2,4
(превышены коэффициенты для Cd, Cu, Zn, Ni);
- точка 7: суммарный коэффициент аномальности – 1,8
(превышены коэффициенты для Cd, Pb, Cu, Zn, Ni, Mn);
- точка 7а: суммарный коэффициент аномальности – 1,7
(превышены коэффициенты для Cd, Pb, Cu, Zn, Ni);
- точка 11: суммарный коэффициент аномальности – 1,3
(превышены коэффициенты для Cd, Cu, Zn, Ni);
- точка 31: суммарный коэффициент аномальности – 1,4
(превышены коэффициенты для Mn);
- точка 32: суммарный коэффициент аномальности – 1,2
(превышены коэффициенты для Mn).

Выводы

Опробование и химический анализ снежного покрова на территории ВЗД г. Минска в пределах существующей и перспективной городской черты позволили сделать следующие выводы.

Снежный покров рассматриваемой территории характеризуется низкими и средними значениями минерализации ($7,74\text{--}22,12 \text{ мг}/\text{дм}^3$) и pH от слабокислых до слабощелочных значений (4,70–6,38). Малая минерализация характерна преимущественно для территорий лесных и парковых массивов, расположенных в северной и южной части ВЗД и удаленных или экранированных от дорог с интенсивным движением транспорта. В центральной части ВЗД, а также на его севере и юге вблизи дорог с интенсивным движением минерализация снежного покрова увеличивается до значений, позволяющих отнести ее к категории средней.

Содержание большинства исследуемых компонентов в снежном покрове на территории ВЗД г. Минска относительно невелико, что позволяет говорить об отсутствии существенных атмосферогенных нагрузок и, соответственно, загрязнения территории ВЗД, обусловленного атмосферными выпадениями. Тем не менее анализ пространственных различий в интенсивности атмосферных выпадений позволяет выявить вещества, специфические для той или иной части обследуемой территории, что дает представление о характере источников воздействия на различные части ВЗД.

Среди веществ, специфических загрязнителей городских территорий в Беларуси в целом и в г. Минске в частности, необходимо отметить взвешенные вещества, хлориды, натрий, соединения азота, тяжелые металлы. Самые высокие значения интенсивности атмосферных выпадений взвешенных веществ характерны для Лошицкого усадебно-паркового комплекса вблизи ул. Маяковского (более $4,0 \text{ г}/\text{м}^2$ в месяц), а также поймы р. Свисочи вдоль ул. Уборевича недалеко от пересечения реки с МКАД к югу от Минского автомобильного завода, к западу от промзоны Шабаны ($2,2 \text{ г}/\text{м}^2$ в месяц). Атмосферные выпадения взвешенных веществ выше средних значений в целом характерны для южной и центральной части ВЗД. Минимальные значения выпадений взвешенных веществ (менее $1,0 \text{ г}/\text{м}^3$ в месяц) характерны для северной части ВЗД в пределах перспективной городской черты.

Ионный состав снежного покрова на территории ВЗД характеризуется высоким содержанием хлоридов и натрия (в среднем 52,3 и 29,9 %-экв соответственно), что обусловлено поступлением компонентов противогололедных солевых смесей. В целом для рассматриваемой территории тип талых снеговых вод характеризуется как гидрокарбонатно-хлоридный магниево-натриево-кальциевый, однако в центральной части города он становится ярко выраженным хлоридным натриевым (кальциево-натриевым). В абсолютных величинах содержание хлоридов в снежном покрове изменяется от 1,31– $3,06 \text{ мг}/\text{дм}^3$ в пределах перспективной городской территории, примыкающей к Заславскому вдхр., до 4,62–9,61 $\text{мг}/\text{дм}^3$ в центральной части города. Содержание натрия – от 0,40–0,60 $\text{мг}/\text{дм}^3$ на перспективной территории до 1,45–4,50 $\text{мг}/\text{дм}^3$ в центре.

Содержание соединений азота в снежном покрове в целом невелико. Интенсивность атмосферных выпадений окисленного азота оценивается в среднем в $4,6 \text{ мгN}/\text{м}^2$ в месяц, восстановленного – в $3,1 \text{ мгN}/\text{м}^2$ в месяц. Точки с повышенной интенсивностью атмосферных выпадений восстановленного азота концентрируются преимущественно в южной части ВЗД, окисленного азота больше тяготеют к центральной и северной части ВЗД.

Концентрации таких тяжелых металлов, как кадмий, свинец, никель и марганец в снежном покрове относительно невелики. Соответственно, значения интенсивности их атмосферных выпадений

также незначительны. Концентрации цинка во всех точках опробования на территории города и меди в 7 точках из 17 превышают их природное фоновое содержание для воды р. Свисочи для цинка – в 1,4–6,6 раза, для меди – в 1,6 раза, что говорит о наличии существенных источников их поступления в атмосферу города.

Список использованных источников

1. Хомич, В. С. Химический состав снеговых вод некоторых локальных природно-техногенных комплексов Белоруссии / В. С. Хомич, М. П. Оношко // Геохимические методы мониторинга. – Минск : Наука и техника, 1980. – С. 71–77.
2. Какарека, С. В. Пространственная структура выпадения сульфатов и закисления снежного покрова на территории г. Минска / С. В. Какарека, В. С. Хомич // Литосфера. – 1995. – № 3. – С. 163–166.
3. Какарека, С. В. Изучение химического состава атмосферных осадков и снежного покрова на урбанизированных территориях (на примере г. Минска) / С. В. Какарека, О. Е. Белькович, В. Н. Чудук // Вестник БГУ. Сер. 2. – 2010. – № 1. – С. 90–94.
4. Какарека, С. В. Формальдегид в атмосферных осадках и снежном покрове на территории Минска / С. В. Какарека, Ю. Г. Кокош // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2013. – Т. 57, № 5. – С. 88–91.
5. Санец, Е. В. Сульфаты в окружающей среде зоны влияния стекольного производства / Е. В. Санец, В. Н. Чудук // Природопользование. – Вып. 6. – Минск, 2000. – С. 89–93.
6. Sanets, E. V. Sulphur atmospheric deposition in areas with different anthropogenic loads in Belarus / E. V. Sanets, V. N. Chuduk // Atmospheric Research. – 2005. – Vol. 77, № 1–4: Precipitation in Urban Areas / ed. by T. Einfalt, P. Molnar, W. Schmid. – Р. 88–99.
7. Мониторинг загрязнения снежного покрова / В. Н. Василенко [и др.]. – Л. : Гидрометеоиздат, 1985. – 181 с.
8. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186-89. – М. : Гос. ком. СССР по гидрометеорологии, Мин-во здравоохранения СССР, 1991. – 696 с.
9. ТКП 17.13-15-2014 (02120) Порядок отбора проб атмосферного воздуха, атмосферных осадков и снежного покрова для определения концентраций загрязняющих веществ и метеорологические наблюдения. Охрана окружающей среды и природопользование. Аналитический (лабораторный) контроль и мониторинг окружающей среды / утв. Постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 27.11.2014 г. № 10-Т. – 20 с.
10. Характеристики фонового загрязнения сульфатами снежного покрова на территории СССР / Т. В. Беликова [и др.] // Метеорология и гидрология. – 1984. – № 9. – С. 47–55.
11. Государственный кадастр атмосферного воздуха: информационный бюллетень, 2017 г. / под ред. Г. И. Гла-зачевой, В. В. Валентейчика / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, РУП «БелНИЦ «Экология». – Минск, 2018. – 61 с.
12. Овчарова, Е. П. Состояние водных объектов урбанизированных территорий (на примере городов Минской области) / Е. П. Овчарова, Е. В. Санец, О. В. Кадацкая // Природопользование. – Минск, 2016. – Вып. 29. – С. 65–75.
13. Санец, Е. В. Гидрохимическая диагностика состояния водных объектов на урбанизированной территории (на примере г. Минска) / Е. В. Санец, О. В. Кадацкая, Е. П. Овчарова // Гидрометеорология и экология: до-стижения и перспективы развития : Труды III Всерос. конф., Санкт-Петербург, 18–19 дек. 2019 г. – С. 762–767.
14. Кислотные дожди / Ю. А. Израэль [и др.]. – Л. : Гидрометеоиздат, 1989. – 269 с.
15. Состояние природной среды Беларуси : экологический бюллетень 2014 г. / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 2015. – 344 с.
16. Алекин, О. А. Основы гидрохимии / О. А. Алекин. – Л. : Гидрометеоиздат, 1970. – 290 с.
17. Об установлении нормативов качества воды поверхностных водных объектов: Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 30.03.2015 г. № 13.

References

1. Khomich V. S., Onoshko M. P. *Himicheskij sostav snegovyh vod nekotoryh lokalnyh prirodno-tehnogennych kompleksov Belorussii* [The chemical composition of snow waters of some local natural-technogenic complexes in Belarus]. Geohimicheskie metody monitoringa = Geochemical monitoring methods. Minsk, 1980, pp. 71–77. (in Russian)
2. Kakareka S. V., Khomich V. S. *Prostranstvennaja struktura vypadenija sulfatov i zakislenija snezhnogo pokrova na territorii g. Minska* [The spatial structure of sulfate deposition and acidification of snow cover on the territory of Minsk]. Litosfera = Lithosphere, 1995, no. 3, pp. 163–166. (in Russian)
3. Kakareka S. V., Belkovich O. Ye., Chuduk V. N. *Izuchenie himicheskogo sostava atmosfernnyh osadkov i snezhnogo pokrova na urbanizirovannyh territorijah (na primere g. Minska)* [Study of the chemical composition of precipitation and snow cover on urban areas (on example of Minsk)]. Vestnik BGU = Bulletin of BSU, vol. 2, 2010, no. 1, pp. 90–94. (in Russian)

4. Kakareka S. V., Kokosh Yu. G. *Formaldegid v atmosfernyh osadkakh i snezhnom pokrove na territorii Minska* [Formaldehyde in precipitation and snow cover on the territory of Minsk]. *Doklady Nacionalnoj akademii nauk Belarusi = Reports of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2013, vol. 57, no. 5, pp. 88–91. (in Russian)
5. Sanets E. V., Chuduk V. N. *Sulfaty v okruzhajushtchej srede zony vlijanija stekolnogo proizvodstva* [Sulfates in the environment of the influence zone of glass industry]. *Prirodopolzovanie = Nature management*, vol. 6, 2000, pp. 89–93. (in Russian)
6. Sanets, E. V. Sulphur atmospheric deposition in areas with different anthropogenic loads in Belarus / E. V. Sanets, V. N. Chuduk. *Atmospheric Research*, 2005, vol. 77, no. 1–4: Precipitation in Urban Areas. Ed. by T. Einfalt, P. Molnar, W. Schmid, pp. 88–99.
7. Vasilenko V. N., ea. *Monitoring zagiaznenija snezhnogo pokrova* [Monitoring of snow cover pollution]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1985, 181 p. (in Russian)
8. *Rukovodstvo po kontrolu zadriaznenija atmosfery* [Air pollution control guide]. RD 52.04.186-89. Moscow, 1991, 696 p. (in Russian)
9. TKP 17.13-15-2014 (02120) *Poriadok otbora prob atmosfernogo vozduha, atmosfernyh osadkov i snezhnogo pokrova dlja opredelenija koncentracij zagiazniaushtchih veshtchestv i meteorologicheskie nabludenija. Ohrana okruzhayushchej sredy i prirodopolzovanie. Analiticheskij (laboratornyj) control i monitoring okruzhayushchej sredy* [The sampling procedure for atmospheric air, precipitation and snow cover to determine the concentrations of pollutants and meteorological observations. Environmental protection and nature management. Analytical (laboratory) control and environmental monitoring]. Utr. Postanovleniem Minprirody 27 November 2014, no. 10-T, 20 p. (in Russian)
10. Belikova T. V., ea. *Kharakteristiki fonovogo zagiaznenija sulfatami snezhnogo pokrova na territorii SSSR* [Characteristics of background pollution of snow cover by sulfates on the territory of USSR]. *Meteorologija i gidrologija = Meteorology and hydrology*, 1984, no. 9, pp. 47–55. (in Russian)
11. *Gosudarstvennyj kadastr atmosfernogo vozduha: informacionnyj bulleten*, 2017 [State air cadaster: bulletin, 2017]. Ed. by G. I. Glazacheva, V. V. Valenteychik. Minsk, 2018, 61 p. (in Russian)
12. Ovcharova E. P., Sanets E. V., Kadatskaya O. V. *Sostojanie vodnyh ob'ektov urbanizirovannyh territorij (na primere gorodov Minskoy oblasti)* [An assessment of effects on water bodies of urban areas (on the example of Minsk region)]. *Prirodopolzovanie = Nature management*, 2016, issue 29, pp. 65–75. (in Russian)
13. Sanets E. V., Kadatskaya O. V., Aucharova A.P. *Gidrohimicheskaja diagnostika sostojanja vodnyh ob'ektov na urbanizirovannoj territorii (na primere g. Minska)* [Hydrochemical diagnostics of the state of water bodies in an urban area (on the example of Minsk)]. *Trudy III Vserossijskoj konferencii «Gidrometeorologija i ekologija: dostizhenija i perspektivy razvitiya»* [Proc. III Russian Conf. ‘Hydrometeorology and ecology: achievements and development perspectives’]. Saint-Petersburg, 2019, pp. 762–767. (in Russian)
14. Izrael Yu. A. *Kislotnye dozhdi* [Acid rains]. Leningrad, Hydrometeo Publishing, 1989, 269 p. (in Russian)
15. *Sostojanie prirodnoj sredy Belarusi: ekologicheskij bulleten*, 2014 [The state of the nature environment of Belarus: environmental bulletin, 2014]. Ed. by V. F. Loginov, Minsk, 2015, 344 p. (in Russian)
16. Aliokin O. A. *Osnovy gidrohimii* [The basics of hydrochemistry]. Leningrad, Hydrometeo Publishing, 1970, 290 p. (in Russian)
17. *Ob ustanovlenii normativov kachestva poverhnostnyh vodnyh ob'ektov. Postanovlenie Minprirody* 30.03.2015 no. 13. [On the establishment of water quality standards for surface water bodies. Decree of the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus]. (in Russian)

Информация об авторах

Санец Елена Васильевна – кандидат географических наук, заведующий лабораторией оптимизации геосистем, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: elena-sanets@yandex.by

Бокая Галина Михайловна – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь)

Information about the authors

Elena V. Sanets – Ph. D. (Geography), Head of Laboratory of Geosystems Optimization, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: elena-sanets@yandex.by

Halina M. Bokaya – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus)

ЛАНДШАФТНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ЭКОЛОГО-ХОЗЯЙСТВЕННОГО ЗОНИРОВАНИЯ РЕГИОНА (НА ПРИМЕРЕ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ)

М. И. Струк

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Приведена оценка эколого-хозяйственных свойств Гомельской области. Показана зависимость сравнительно низкого уровня ее сельскохозяйственного освоения от ландшафтной структуры территории, в которой доминируют равнинные и низинные ландшафты с широким распространением песчаных покровных отложений, обладающих низким естественным плодородием и уязвимых к засухам.

Выполнено эколого-хозяйственное зонирование территории с выделением зон трех типов: повышенной экологической ценности, преимущественно хозяйственного назначения, высокого радиоактивного загрязнения. Зона первого типа представлена пойменными и прилегающими к ним ландшафтами крупных рек, занятymi естественными лесными, луговыми и болотными экосистемами и имеющими статус ядер и коридоров национальной экологической сети. Зоны второго типа занимают большую часть территории и являются сходными по повсеместному преобладанию сельскохозяйственного и лесохозяйственного видов природопользования. Существующие между ними различия связаны с разными соотношениями присущих им сочетаний ландшафтов, сельскохозяйственных и лесных земель, а также уровня мелиорации и радиоактивного загрязнения. К зоне третьего типа отнесена территория радиационно-экологического заповедника.

Для каждой из зон определены приоритетные направления хозяйственной специализации на базе использования местного природно-ресурсного потенциала и экологической оптимизации.

Ключевые слова: ландшафт; эколого-хозяйственное зонирование; сельскохозяйственное освоение; радиоактивное загрязнение; естественные экосистемы; Гомельская область.

Для цитирования. Струк М. И. Ландшафтные предпосылки эколого-хозяйственного зонирования региона (на примере Гомельской области) // Природопользование. – 2020. – № 1. – С. 63–75.

LANDSCAPE BACKGROUNDS OF ECOLOGICAL AND ECONOMICAL REGION ZONING (ON THE EXAMPLE OF GOMEL REGION)

M. I. Struk

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

Abstract. The estimation of ecological and economical features of Gomel region is given. Dependence on the comparatively low level of its agricultural mastering from the landscape structure of the territory in which plane and low landscapes with wide spread of sand cover deposits having low natural fertility and vulnerable to drought dominate.

The ecological and economical zoning of the territory was carried out with the highlighting of the zones of three types: increased environmental value, mainly of economic purposes, of high radioactive pollution. The zone of the first type is represented by the floodplain and adjacent landscapes to them of large rivers occupied by natural forest, meadow and bog ecosystems and having the status of the nuclei and corridors of the national ecological network. The zones of the second type occur the most part of the territory and are similar on the widespread prevalence of the agricultural and the forestry types of nature management. Differences which exist in them are connected with different ratios of their inherent combinations of landscapes, agricultural and forest lands, as well as the level of land reclamation and radioactive pollution. The territory of radiation and ecological nature reserve is assigned to be the zone of the third type.

For each of the zone the prior directions of economical specialization on the base of local nature and resource potential and ecological optimization are determined.

Keywords: landscape; ecological and economical zoning; agriculture mastering; radioactive pollution; nature ecosystems; Gomel region.

For citation. Struk M. I. Landscape backgrounds of ecological and economical region zoning (on the example of Gomel region). *Nature Management*, 2020, no. 1, pp. 63–75.

Введение. Обязательным условием устойчивого социально-экономического развития страны и составляющих ее регионов является их оптимальное пространственное обустройство. Для этого используется такой управленческий механизм, как территориальное планирование.

Территориальное планирование реализуется в форме соответствующих схем различного назначения. Они могут иметь узкую направленность, затрагивать отдельные составляющие пространственной организации населения, экономики, социальной сферы, окружающей среды или быть комплексными. Принимая во внимание ключевое требование устойчивого развития, которое заключается в обеспечении сбалансированного сочетания социально-экономических и экологических интересов, возникает потребность разработки таких комплексных схем дифференциации территории, которые адекватны данному сочетанию. К их числу относятся и схемы эколого-хозяйственного зонирования.

Со временем, по мере повышения роли экологического фактора в территориальном развитии, практическое значение эколого-хозяйственного зонирования возрастает. Например, в Российской Федерации оно получило законодательное закрепление на уровне ее субъектов – областей, краев и иных территориальных образований [1]. Его результаты используются для определения экологических ограничений, подготовки договоров на природопользование, определения границ территорий с особым режимом хозяйственной деятельности, установления ставок платы за природные ресурсы и решения некоторых других задач.

Научное обеспечение указанного зонирования опирается на регулярно проводимые исследования в данном направлении. Сходными с ними по содержанию являются также разработки, предметом которых является не зонирование, а эколого-хозяйственное районирование. Эти работы объединяют совместный учет природных и экономических (в некоторых случаях также социальных) факторов при выделении соответствующих зон или районов. В них находят отражение как общие вопросы подобного рода дифференциации территории [2, 3], так и имеющие отношение к отдельным конкретным регионам (Якутия [4], Ямало-Ненецкий автономный округ [5, 12], Волгоградская область [6], Приволжский федеральный округ [7] и др.). При этом единой общепринятой методики исследований не сложилось: у разных авторов делается упор на различные характеристики выполняемого зонирования, отражающие в большей степени или экологические ограничения на хозяйственное использование выделяемых зон, или их производственную специализацию.

В Беларуси эколого-хозяйственное зонирование в нормативную базу территориального планирования не включено, что, однако, не снижает его конструктивного значения. Данное зонирование призвано, в частности, содействовать экологически оптимальной пространственной организации природопользования.

Проводившиеся применительно к территории Беларуси исследования, посвященные непосредственно эколого-хозяйственному зонированию, затрагивали территорию страны в целом [8], а также части Полесского региона – Припятского Полесья [9]. В первом случае они носили довольно укрупненный характер, во втором – более детальный. С рассматриваемым зонированием связано также районирование Белорусского Полесья, отражающее хозяйственное использование ландшафтов и степень их антропогенного преобразования [10].

Для обеспечения устойчивого пространственного развития страны особое конструктивное значение имеет региональная составляющая эколого-хозяйственного зонирования. Настоящее исследование выполнено применительно к Гомельской области как наиболее сложному в данном отношении региону, прежде всего, из-за его масштабного радиоактивного загрязнения.

Цель исследования – провести оценку эколого-хозяйственных свойств рассматриваемого региона и его зонирование с учетом ландшафтного строения территории. Для ее достижения решались задачи по методическому обоснованию исследования, определению положения региона в природно-ландшафтном и эколого-хозяйственном пространствах страны, выявлению внутрирегиональных сходств и различий по рассматриваемым критериям и выделению соответствующих зон.

Методическое обоснование исследования. Под эколого-хозяйственным зонированием территории подразумевается ее дифференциация на относительно-однородные по природно-экологическим свойствам и хозяйственному использованию выделы. По своему содержанию оно относится к комплексным видам такой дифференциации, поскольку проводится не по какому-либо отдельному признаку, а по заданному набору таковых.

Для проведения подобного рода зонирования, как и любого иного вида деления территории, необходимо, прежде всего, определить соответствующие критерии и характеризующие их показатели. Набор подобного рода критериев задается самим содержанием проводимого зонирования. Его эколого-хозяйственная направленность предусматривает обязательное использование двух базовых критериев – экологического и хозяйственного. Каждый из них предполагает выбор наиболее значимых для характеристики рассматриваемых свойств показателей.

Исходя из конструктивной роли выполняемого зонирования, при проведении отмеченного выбора следует принимать во внимание текущие и перспективные цели социально-экономического развития исследуемой территории. Основная из них, согласно Национальной стратегии устойчивого развития страны на период до 2030 года, заключается в комплексном развитии региона с учетом эффективного использования местного ресурсного потенциала и конкурентных преимуществ в интересах обеспечения высоких стандартов жизни населения, сохранения природы и позитивного вклада в национальную конкурентоспособность и безопасность [11].

Ориентация регионального развития на эффективность использования местных природных ресурсов в сочетании с сохранением природы соответствует выбору таких показателей экологического критерия зонирования территории, как ее экологическая ценность и экологическое состояние. Хозяйственный критерий может быть охарактеризован также двумя показателями, определяющими, во-первых, структуру земельных угодий территории и, во-вторых, вид их хозяйственного использования.

Вместе с тем проводимое зонирование не следует ограничивать только названными экологическим и хозяйственным критериями. Для объяснения сходств и различий в эколого-хозяйственных свойствах территории к ним целесообразно добавить еще один критерий – природно-ландшафтный.

Природные ландшафты выделяются на основе генетического единства и однородности присущих им характеристик – литологического состава отложений, рельефа, почв, условий увлажнения, растительного и животного мира. Ландшафты одного и того же типа будут обладать сходным ресурсным потенциалом, близкими условиями хозяйственного использования, а также реакцией на внешние воздействия. Для их оценки применительно к рассматриваемому зонированию нужно применять три показателя, соответственно, ландшафтной структуры территории, природно-ресурсного потенциала ландшафтов, а также их устойчивости к внешним воздействиям.

Наряду с выбором оценочных критериев и показателей при проведении эколого-хозяйственного зонирования части территории страны следует учитывать также ее ранг, каковым в данном случае выступает административная область. Исследуемая Гомельская область является одним из регионов Беларуси. Она выполняет свою определенную роль в общенациональном разделении труда, в силу чего здесь формируется соответствующая региональная эколого-хозяйственная система с присущими ей внутренними территориальными различиями. Развитие данной системы происходит не автономно, а как части целого. Следовательно, для понимания ее организации и выбора путей оптимизации следует определить место этой системы в общем природно-ландшафтном и эколого-хозяйственном пространстве страны.

Соответственно, в проведении исследования должны быть последовательно реализованы два иерархических уровня. На верхнем из них определяется положение рассматриваемой области по принятым критериям в составе страны, на нижнем выполняются требуемые оценки и осуществляется ее внутренняя дифференциация.

Природно-ландшафтные и эколого-хозяйственные свойства региона. Оценка природно-ландшафтных и эколого-хозяйственных свойств Гомельской области выступает как первый этап исследования, который призван обеспечить ее дифференциацию по отдельным критериям.

В природно-ландшафтном отношении область располагается в пределах двух ландшафтных провинций. Ее северо-восточная часть относится к Предполесской провинции вторичных водно-ледниковых и моренно-зандровых равнин [12]. Остальная территория – к Полесской провинции аллювиальных террасированных низин, болот и вторичных водно-ледниковых равнин.

Поверхностные отложения территории представлены главным образом аллювиальными песками, в меньшей мере – супесями и торфом. Суглинки имеют небольшое распространение.

Рельеф области преимущественно равнинный с общим уклоном в юго-восточном направлении. Преобладающая часть (3/4) территории находится в диапазоне абсолютных высот 135–150 м.

Протекающие в условиях низинного рельефа реки имеют малую врезанность, что служит причиной высокой повторяемости наводнений. Особенно часто они происходят в бассейне р. Припяти и характеризуются самыми большими в Беларуси площадями, а также продолжительностью затопления [13].

В ландшафтной структуре области абсолютно преобладают равнинные и низинные ландшафты, занимающие примерно одинаковые площади. Доля возвышенных ландшафтов мала и составляет лишь 1,1 % (табл. 1).

Таблица 1. Ландшафтная структура Гомельской области и Беларуси, % (по данным работы [14])

Table 1. Landscape structure of Gomel region and Belarus, % (according to the data [14])

Ландшафты	Гомельская область	Беларусь
<i>Возвышенные, всего, в том числе</i>	1,1	16,0
холмисто-моренно-эрзационные	1,1	8,0
<i>Средневысотные, всего, в том числе:</i>	50,7	47,5
водно-ледниковые	33,5	17,5
морено-зандровые	12,5	8,6
вторично-моренные	4,7	15,7
<i>Низинные, всего, в том числе:</i>	47,2	36,5
озерно-аллювиальные	16,7	8,1
аллювиальные террасированные	15,2	6,2
озерно-болотные	6,1	8,8
пойменные	9,2	4,2

Очень низкое распространение возвышенных и, наоборот, повышенное – низинных ландшафтов составляет главное отличие ландшафтной структуры Гомельской области от страны в целом. Соответствующие средние по Беларуси показатели в первом случае превышают обласные значения в 15 раз, во втором – ниже таковых в 1,3 раза.

Кроме того, на ландшафтной структуре области оказывается также более значимое влияние ландшафтов, связанных с крупными реками. Так, аллювиальные террасированные и пойменные ландшафты вместе занимают здесь четверть площади, в то время как по стране в целом – только десятую часть.

Ландшафтной структурой территории определяется ее устойчивость к внешним воздействиям. В самом общем виде она будет зависеть от высотного положения ландшафтов. Причем по отношению к различному высотному уровню эта зависимость для различных видов воздействий будет обратной. Так, применительно к механическим воздействиям при переходе от возвышенных ландшафтов к средневысотным и далее – к низинным устойчивость будет увеличиваться, а к изменению уровня грунтовых вод и накоплению загрязняющих веществ – наоборот, уменьшаться [15].

Принимая во внимание приведенные особенности ландшафтной структуры Гомельской области, можно заключить, что ее территория является более устойчивой к механическим воздействиям и менее устойчивой к изменению уровня грунтовых вод и накоплению загрязняющих веществ относительно средних для страны характеристик.

Основной отличительной особенностью Гомельской области, определяющей ее внутренние различия по высотному расположению и связанному с ним ландшафтному строению, является наличие в ее пределах четырех крупных рек с их долинами. Все они относятся к бассейну р. Днепр. Это сам Днепр и его притоки – рр. Припять, Березина и Сож.

Соответственно, по соотношению ландшафтов определенного высотного уровня территорию области можно разделить на четыре ареала. В двух из них больше распространены равнинные и частично возвышенные ландшафты, в третьем – равнинные и низинные, в четвертом последние становятся доминирующими.

Один из первых двух отмеченных ареалов располагается, в северо-восточной части региона, главным образом по левобережью р. Днепр, второй – в юго-западной, по правобережью р. Припять. Третий из навальных ареалов находится в центральной части региона между рр. Днепр и Припять, четвертый – приурочен к долинам рр. Днепр, Припять, Березина, Сож и примыкающим к ним территориям.

Указанную дифференциацию территории целесообразно принять за природно-ландшафтную основу ее эколого-хозяйственного зонирования. Во-первых, она обеспечивает определенное сходство ландшафтного строения выделенных ареалов, во-вторых, устанавливает довольно четкие естественные гидрографические границы между ними.

Ландшафтные условия территории наряду с ее географическим положением и геологическим строением выступают в качестве ключевого фактора формирования местного природно-ресурсного потенциала. Гомельская область располагается в юго-восточной части Беларуси, в силу чего обладает самым большим потенциалом тепловых ресурсов, что обеспечивает ее преимущества для сельского хозяйства и летней рекреации. Вместе с тем имеются и дополнительные сложности, которые заключаются в более высокой повторяемости здесь засушливых явлений.

В покровных отложениях Гомельской области содержатся в достаточных для производственных нужд объемах такие общераспространенные полезные ископаемые, как торф, сапропели, песчаные и глинистые материалы [16]. С геологическим строением территории связано наличие углеводородного, химического и ценного строительного сырья. Рассматриваемый регион в Беларуси обладает самым большим его богатством. Только в пределах области ведется добыча нефти, каменной соли, готовится к разработке добыча калийной соли. Кроме того, лишь здесь разведаны месторождения бурых углей, горючих сланцев, гипса, которые пока не разрабатываются.

Более высокая обеспеченность Гомельской области полезными ископаемыми находит существенное отражение в структуре ее экономики. Доля горнодобывающей промышленности в валовом региональном продукте области намного выше, нежели в других областях. В 2018 г. она составила 4,8 %, что в 7 раз превосходит средний для страны показатель (0,7 %).

Потенциал земельных ресурсов для сельского хозяйства определяется, прежде всего, плодородием почв. Земельные ресурсы Гомельской области по своему плодородию уступают большинству других регионов страны. Их бонитет составляет 27,3 балла, что ниже среднего для Беларуси значения (29,0 баллов), а также ниже показателей четырех других областей, за исключением Витебской [17].

Подобное положение, очевидно, объясняется широким распространением на территории Гомельской области песчаных почв. Они охватывают 46,9 % сельскохозяйственных угодий против 21,5 % по Беларуси в целом [18]. По сравнению с почвами иного гранулометрического состава они отличаются самым низким естественным плодородием [19]. Кроме того, песчаные почвы в большей степени уязвимы к засухам и поддержанию баланса гумуса.

Районы с наибольшим распространением песчаных почв в составе сельскохозяйственных угодий (свыше 50 %) располагаются главным образом в центральной и южной частях области (рис. 1). Самая низкая их доля (меньше 30 %) наблюдается в трех северо-восточных районах, занятых равнинными ландшафтами с почвами преимущественно супесчаного гранулометрического состава. На остальной части территории удельный вес песчаных почв также довольно высок – от 30 до 50 %.

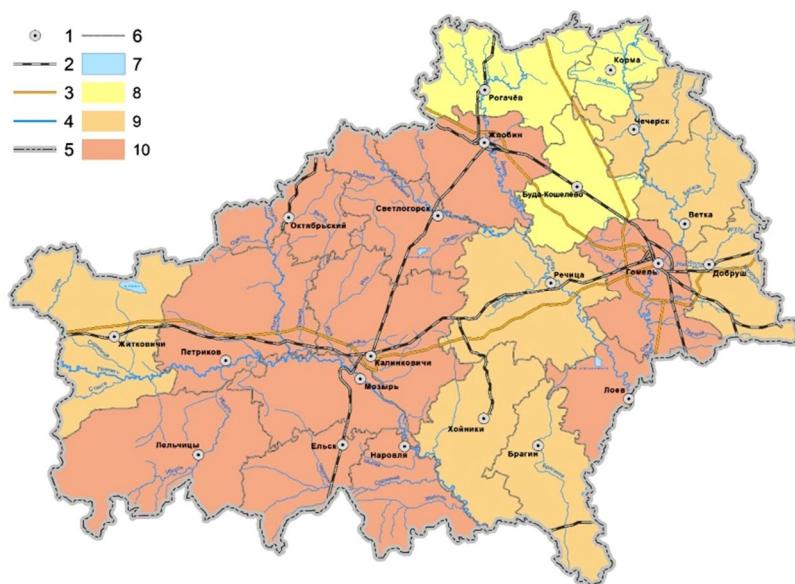


Рис. 1. Доля песчаных почв в составе сельскохозяйственных земель районов Гомельской области:
1 – населенные пункты; 2 – железные дороги; 3 – автомобильные дороги; 4 – реки; 5 – граница Гомельской области; 6 – границы административных районов; 7 – озера и водохранилища;
8–10 – песчаные почвы (8 – до 30,0 %; 9 – 30,1–50,0 %; 10 – более 50,0 %)

Fig. 1. The share of sandy soils in the agricultural lands of the areas of Gomel region: 1 – habitant points; 2 – railways; 3 – car roads; 4 – rivers; 5 – the border of Gomel region; 6 – the borders of administrative regions; 7 – lakes and water reserves; 8–10 – sandy soils (8 – to 30,0 %; 9 – 30,1%–50.0 %; 10 – more than 50,0 %)

Основным по занимаемой площади видом экономической деятельности, определяющим хозяйственное использование территории, является сельскохозяйственное производство. Территория Гомельской области относительно страны в целом меньше освоена в сельскохозяйственном отношении. Доля сельскохозяйственных земель составляет здесь 32,8 %, что на 7,2 % ниже среднего для Беларуси показателя (табл. 2).

Таблица 2. Доля сельскохозяйственных и природных угодий в Гомельской области и Беларуси по состоянию на 01.01.2018 г., % (по данным работы [20])

Table 2. The share of agricultural and nature lands in Gomel region and Belarus on 01.01.2018, % (according to the data [20])

Регион	Сельскохозяйственные земли					Природные угодья		
	всего	% от сельскохозяйственных				всего	леса	ООПТ
		осушенные	пахотные	луговые	прочие			
Гомельская область	32,8	37,8	69,3	29,4	1,3	59,0	47,1	7,4
Беларусь	41,0	33,8	67,4	31,2	1,4	53,9	39,8	8,7

Сравнительно низкое сельскохозяйственное освоение рассматриваемой территории соответствует более низкому плодородию почв в ее пределах. Это дает основания рассматривать почвенное плодородие территории в качестве главного фактора, определяющего степень ее сельскохозяйственного использования. Данный фактор, очевидно, перекрывает имеющиеся у области преимущества, связанные с повышенным потенциалом тепловых ресурсов, обеспечивающим большую продолжительность вегетационного периода на данной территории.

Причем указанное положение сохраняется на протяжении длительного времени. Например, в 1970 г. доля сельскохозяйственных земель в Гомельской области также была меньше средней для страны величины на 6,5 %, составляя 41,9 %. Данный показатель превосходит его современное значение на 9,1 %. Произошедшее столь значительное снижение степени сельскохозяйственного освоения Гомельской области объясняется выведением из оборота после 1986 г. части сельскохозяйственных земель с высоким уровнем радиоактивного загрязнения. Их площадь составила 218 тыс. га, или 5,4 % территории области.

Во внутриобластном сельскохозяйственном освоении территории прослеживается последовательное уменьшение его уровня с северо-востока на юго-запад (рис. 2). Подобное направление в целом согласуется с изменением плодородия почв.

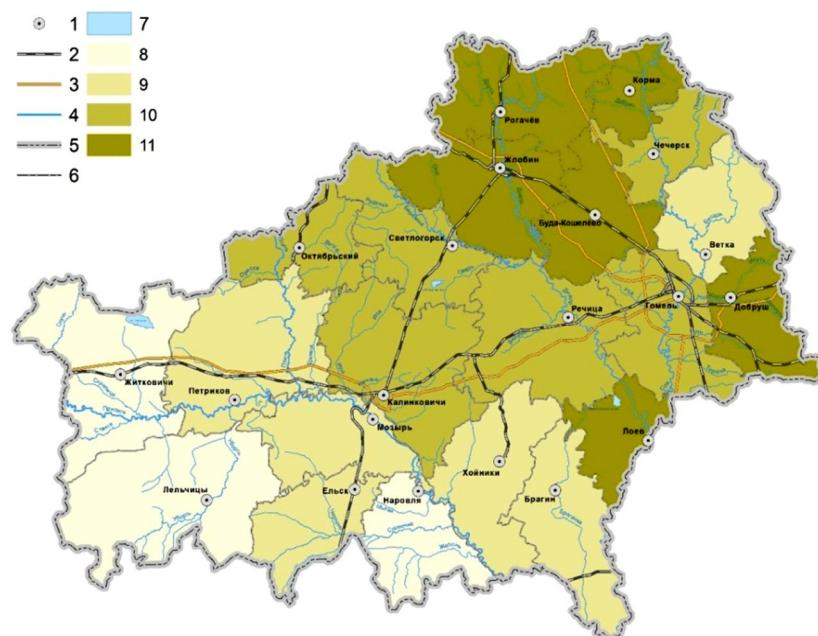


Рис. 2. Сельскохозяйственная освоенность районов Гомельской области, %:
1–7 – те же, что на рис. 1; 8–11 – сельскохозяйственные земли (8 – до 20,0 %;
9 – 20,1–30,0 %; 10 – 30,1–40,0 %; 11 – более 40,0 %)

Fig. 2. Agricultural mastering of Gomel region areas, %:
1–7 – same as on the fig. 1; 8–11 – agricultural lands (8 – to 20,0 %;
9 – 20,1–30,0 %; 10 – 30,1–40,0 %; 11 – more than 40,0 %)

Пониженное сельскохозяйственное освоение западной части области может быть объяснено более высокой степенью ее естественной заболоченности. Хотя здесь в 1960–80-е гг. были проведены масштабные осушительные работы, они все же не привели к такой степени сельскохозяйственного использования территории, как в тех ее частях, где водный режим почв был более приемлемым для данного использования.

Структура сельскохозяйственных земель области близка таковой Беларуси. В обоих случаях свыше 2/3 площади занимают пахотные угодья. В то же время область выделяется более высоким уровнем осушительной мелиорации, что, вероятно, связано с ее ландшафтным строением, в котором почти половину площади занимают низинные ландшафты. Для этих ландшафтов в большей мере, нежели для равнинных и возвышенных, характерно распространение гидроморфных почв, сельскохозяйственное использование которых требует осушения.

Внутри Гомельской области доля осущенных сельскохозяйственных земель уменьшается в обратном по сравнению со степенью сельскохозяйственного освоения территории направлении. В западных районах эти земли занимают больше половины сельскохозяйственных угодий, в центральных – от трети до половины и в восточных – меньше трети (рис. 3).

Обратной стороной низкого сельскохозяйственного освоения территории является более высокая степень сохранности в ее пределах естественных экосистем. Если в стране в целом лесные, кустарниковые, естественные луговые, болотные и водные экосистемы занимают 53,9 %, то в рассматриваемой области – 59,0 % (см. табл. 2).

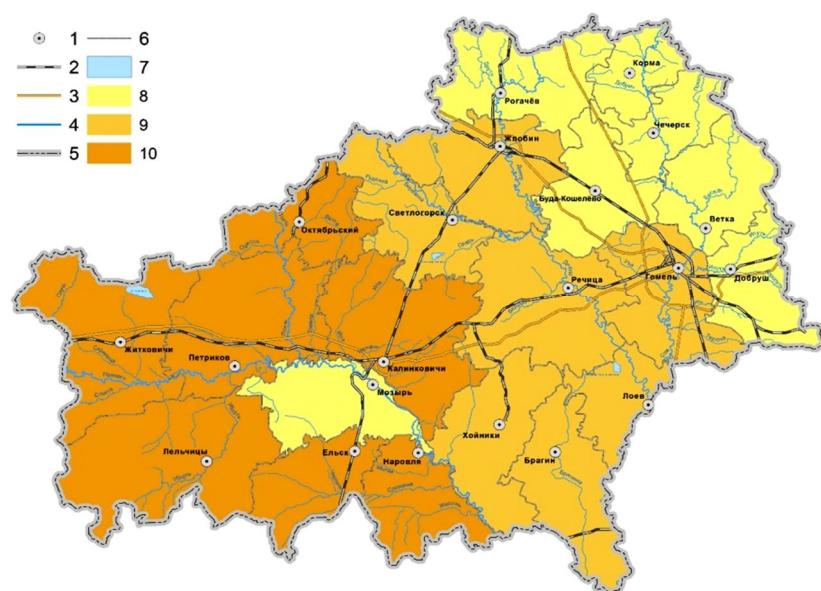


Рис. 3. Доля осушенных земель в составе сельскохозяйственных угодий районов Гомельской области, %: 1–7 – те же, что и на рис. 1; 8–10 – осушенные земли (8 – до 30,0 %; 9 – 30,1–50,0 %; 10 – более 50,0 %)

Fig. 3. The share of meliorated lands in the content of the agricultural lands of Gomel region, %: 1–7 – same as on the fig. 1; 8–10 – meliorated lands (8 – to 30,0 %; 9 – 30,1–50,0 %; 10 – more than 50,0 %)

Среди природных экосистем особенно ценными как в экологическом, так и хозяйственном отношении являются леса. Гомельская область выделяется самой высокой лесистостью по сравнению с другими регионами Беларуси. В составе произрастающих здесь лесов доминирующее положение занимают сосновые формации. Кроме того, существенной отличительной чертой лесной растительности территории, имеющей важное хозяйственное значение, является также повышенная доля в ней дубрав. На данную территорию приходится половина от их общей площади в стране.

Повышенная доля естественных экосистем в Гомельской области отражает ее особую значимость для сохранения природного равновесия не только национального, но и межгосударственного значения и представляет конкурентные преимущества области применительно к интенсификации в ее пределах видов природопользования, связанных с их использованием, в первую очередь, экотуризма. В последние десятилетия данный вид туризма развивается в Европе и мире наиболее высокими темпами, и территория области помимо удовлетворения внутреннего спроса на него способна обеспечить соответствующие услуги и для зарубежных туристов.

Для сохранения биологического и ландшафтного разнообразия наибольшую экологическую ценность имеют естественные экосистемы, которые обладают природоохранным статусом. К таковому относится статус особо охраняемых природных территорий (ООПТ), а также элементов национальной экологической сети – экологических ядер и коридоров. Зачастую они совпадают. Большие по площади естественные экосистемы имеют статус таких видов ООПТ, как национальные парки и заповедники, а также одновременно являются ядрами или коридорами национальной экологической сети.

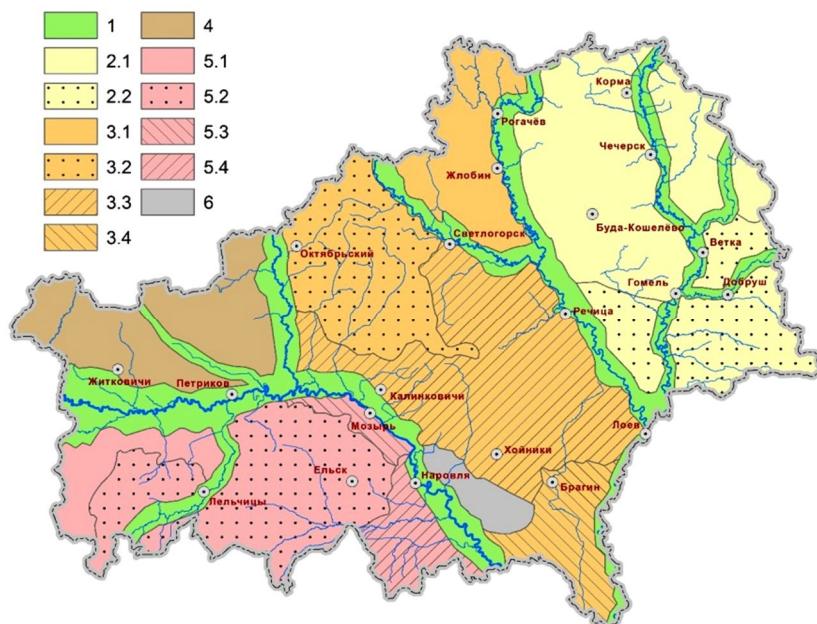
В Гомельской области доля особо охраняемых природных территорий ниже средней по стране, составляя 7,4 % против 8,7 % [21]. Из элементов национальной экологической сети здесь находится одно ядро европейского значения (национальный парк «Припятский» с примыкающими к нему заказниками), несколько ядер национального и регионального значения, а также соединяющие их экологические коридоры различного ранга [22].

В рассматриваемой области экологические ядра приурочены, как правило, к речным долинам, в данном случае рр. Днепр и Припять и их притоков. В таком их размещении заключается основное отличие данной области от других регионов, где эти ядра занимают, преимущественно, водораздельное положение.

Экологическое состояние Гомельской области в решающей степени определяет ее радиоактивное загрязнение. На долю области приходится около 60 % его общей площади в стране [21]. Удельный вес всей территории, загрязненной цезием-137, составляет в пределах области 39,6 %, сельскохозяйственных земель – 43,9, лесных – 47,2 %, что примерно в 3 раза выше средних для Беларуси значений.

Радиоактивное загрязнение распространено по территории области повсеместно. В то же время самая высокая его интенсивность наблюдается в ее восточной и юго-восточной частях.

Эколого-хозяйственные зоны Гомельской области. Опираясь на выявленные внутри области сходства и различия по природно-ландшафтным условиям, экологической ценности и экологическому состоянию, а также виду угодий и их хозяйственному использованию проведено ее эколого-хозяйственное зонирование. Всего выделено шесть эколого-хозяйственных зон (рис. 4.). Три из них разделены на подзоны.



**Рис. 4. Эколого-хозяйственное зонирование Гомельской области
(названия зон и подзон приведены в тексте)**

**Fig. 4. Ecological and agricultural zoning of Gomel region
(the names of zones and subzones are given in the text)**

1. Зона низинных пойменных ландшафтов крупных и больших рек с прилегающими частями террас, занятая, преимущественно, естественными лесными, болотными и дуговыми экосистемами, имеющими общеевропейское и национальное значение для сохранения биоразнообразия, подверженная радиоактивному загрязнению различной интенсивности. Имеет линейную форму и вытянута вдоль таких рек, как Днепр, Припять, Березина, Сож и их основных притоков.

Наряду с высокой экологической ценностью в пределах зоны выполняются важные социальные и производственные функции. В частности, к долинам рек, особенно крупных, приурочена преобладающая часть городских поселений области, в том числе все самые большие города: Гомель, Мозырь, Жлобин, Светлогорск и другие, а также основные зоны отдыха населения. Здесь же размещаются крупнейшие в стране предприятия металлургической, химической, нефтеперерабатывающей промышленности. В отдельных частях речные поймы мелиорированы.

Сами реки используются как транспортные пути. При проведении дноуглубительных работ из них осуществляется добыча песка для строительных нужд.

Приоритетные направления социально-экономического развития зоны касаются активизации здесь экологического туризма, водного транспорта и туризма, восстановления и поддержания штатных режимов функционирования мелиоративных систем, улучшения условий рыболовства при сохранении расположенных в ее пределах ценных природных экосистем и биологических видов, обеспечении выполнения функций экологических ядер и коридоров.

В качестве перспективного проекта экономического роста в зоне может стать создание трансъевропейского водного пути Е-40, соединяющего порты Балтийского и Черного морей и проходящего по р. Припять. Для этого понадобится реализация на ней водохозяйственных мероприятий по устойчивому обеспечению судоходства.

2. Зона равнинных вторично-моренных, морено-зандровых водно-ледниковых и частично низинных аллювиально-террасированных ландшафтов, занятая в относительно равной степени сель-

скохозяйственными землями и лесами, подверженная радиоактивному загрязнению умеренной и высокой интенсивности. Располагается по левобережью р. Днепр и характеризуется сравнительно высоким для Гомельской области плодородием почв.

Зона разделена на две подзоны, которые различаются ландшафтным строением. В ее северной части (подзона 2.1) располагаются преимущественно равнинные, в южной (подзона 2.2) – низинные в сочетании с равнинными ландшафты. Поэтому для второй из них большее значение приобретает охрана грунтовых вод от загрязнения, особенно со стороны интенсивного сельского хозяйства.

Зона отличается самыми лучшими в Гомельской области условиями ведения сельского хозяйства – более высоким плодородием почв, благоприятным естественным режимом их увлажнения, равнинным рельефом. В ее пределах возможно развитие как интенсивного сельского хозяйства, так и органического земледелия.

Отмеченные конкурентные преимущества обусловливают выбор в качестве приоритетного направления экономической специализации зоны, основанного на использовании местного природно-ресурсного потенциала, сохранение и повышение ее сельскохозяйственного значения. Со временем, в связи с продолжающимся последовательным уменьшением плотности радиоактивного загрязнения, имеются возможности наращивания площади сельскохозяйственных земель за счет возврата в оборот ранее выведенных загрязненных угодий.

Существенным преимуществом зоны является также размещение в ее пределах крупнейшего города, каковым является Гомель. Этот город активизирует всестороннее экономическое развитие окружающей его территории, способствует интенсификации различных видов природопользования, в частности сельскохозяйственного, водохозяйственного, рекреационного, транспортной инфраструктуры, пригородных поселений. Подобная роль г. Гомеля на перспективу должна усилиться, что создает благоприятные предпосылки экономического роста данной территории и требует одновременного принятия мер по снижению связанных с ним экологических рисков.

3. Зона равнинных водно-ледниковых, моренно-зандровых и низинных озерно-аллювиальных и пойменных ландшафтов, занятая лесами и в меньшей степени сельскохозяйственными землями частично мелиорированными, с ареалами радиоактивного загрязнения преимущественно невысокой интенсивности находится между рр. Днепр, Птичья, Припять и разделена на четыре подзоны.

Подзона 3.1 располагается между рр. Днепр и Березина, занята водно-ледниковыми ландшафтами с относительно высоким для Гомельской области плодородием почв и сельскохозяйственным освоением.

Подзона 3.2. Находится в северной части зоны, занята равнинными водно-ледниковыми и моренно-зандровыми ландшафтами, характеризуется сравнительно низким плодородием почв, повышенным распространением песчаных почв, умеренным сельскохозяйственным освоением и средней степенью осушительной мелиорации.

Подзона 3.3. Приурочена в центральной части зоны, занята преимущественно низинными озерно-аллювиальными и частично равнинными водно-ледниковыми ландшафтами. Характер ее хозяйственного использования схож с предыдущей подзоной, но доля сельскохозяйственных земель здесь ниже. Кроме того, на данной территории имеются месторождения нефти и ведется ее добыча.

Подзона 3.4. Располагается в южной части зоны между рр. Днепр и Припять; занята низинными аллювиально-террасированными и озерно-болотными ландшафтами. Степень сельскохозяйственного освоения низкая, лесистость высокая, радиоактивное загрязнение также более высокое.

Перспективные направления развития зоны связаны с продолжением добычи нефти, а также обеспечением стабильного получения высоких урожаев в сельском хозяйстве и более эффективного использования лесных ресурсов. В связи с широким распространением в составе сельскохозяйственных угодий песчаных почв, при высокой повторяемости засух, большую значимость для данной территории приобретают меры по их орошению, а также повышению почвенного плодородия за счет внедрения адекватных севооборотов и внесения удобрений.

Высокая лесистость территории создает возможности повышения роли лесных ресурсов, как древесных, так и недревесных – грибов, ягод, лекарственных растений, а также охотничьих животных в ее экономическом развитии. При этом наиболее эффективным способом их использования выступает организация на базе этих ресурсов производства продукции с высокой добавленной стоимостью.

Для центральной и южной частей зоны (подзоны 3.3 и 3.4), которые характеризуются низкой устойчивостью к изменению уровня и загрязнению грунтовых вод, нужны соответствующие водоохраные меры.

4. Зона низинных озерно-аллювиальных, озерно-болотных и равнинных водно-ледниковых ландшафтов, занятая лесами и в меньшей степени сельскохозяйственными, преимущественно мели-

ориентированными, землями с ареалами радиоактивного загрязнения невысокой интенсивности. Расположена в северо-западной части области между рр. Птичь и Припять.

Современное социально-экономическое развитие зоны определяет, главным образом, сельское хозяйство на осушенных землях, эффективность которого в решающей степени зависит от технического состояния имеющихся мелиоративных систем, а также лесное хозяйство. Подобная специализация, очевидно, должна сохраниться и на перспективу.

Основные направления развития зоны, связанные: с сельским хозяйством – реконструкция и поддержание в штатном режиме действующих мелиоративных систем, внедрение севооборотов и технологий обработки земель, обеспечивающих сохранение почвенного плодородия, а также предотвращение деградации торфяных почв; с лесным хозяйством – аналогичные таковым предыдущей зоны.

Дополнительным фактором экономического развития зоны станет создание в ее пределах новой точки роста – калийного комбината на базе Петриковского месторождения калийных солей. Одновременно потребуется реализация мер по минимизации его негативных воздействий на окружающую среду. С учетом низкой естественной защищенности грунтовых вод территории приоритетное значение должны получить меры по их охране, как от данного объекта, так и от других источников.

5. Зона возвышенных холмисто-моренно-эрэзионных, равнинных водно-ледниковых, низинных аллювиально-террасированных и озерно-болотных ландшафтов, занятая лесами и в меньшей степени сельскохозяйственными, большей частью мелиорированными, с радиоактивным загрязнением невысокой и умеренной интенсивности землями. Занимает правобережную часть р. Припять. Разделена на четыре подзоны.

Три из выделенных четырех подзон – 5.1, 5.2 и 5.4 – не имеют заметных различий по хозяйственному использованию, повсеместно его уровень низкий и сельскохозяйственное производство базируется, главным образом, на осушенных землях. Они отличаются ландшафтным строением и связанной с ним устойчивостью к внешним воздействиям.

Подзоны 5.1 и 5.4 находятся, соответственно, в западной и восточной частях зоны и представлены низинными ландшафтами: первая из них – пойменными и озерно-аллювиальными, вторая – пойменными и озерно-болотными, которые уязвимы к изменению уровня грунтовых вод и загрязнению. Подзона 5.2 располагается в центральной части зоны с равнинными водно-ледниковыми ландшафтами и отличается большей устойчивостью к внешним воздействиям.

Подзона 5.3 приурочена к северной части зоны и по ландшафтному строению, которое представлено холмисто-моренно-эрэзионной возвышенностью, является специфической для всего Белорусского Полесья. Сельское хозяйство здесь не нуждается в осушительной мелиорации, а почвенная эрозия связана с плоскостным и линейным смывом, а не с дефляцией.

По хозяйственному использованию зона является сходной с предыдущей. На его сравнительно низкий уровень, вероятно, оказало влияние ее периферийное приграничное положение и наличие естественного барьера – р. Припять.

Основные направления развития такие же, как у предыдущей зоны. Только при сельскохозяйственном использовании земель понадобится больше внимания уделить мерам по их орошению, а также предотвращению водной эрозии почв (подзона 5.3).

6. Зона низинных озерно-болотных, аллювиальных террасированных и равнинных водно-ледниковых ландшафтов, занята преимущественно лесами с очень высоким уровнем радиоактивного загрязнения. Находится в южной части области. Имеет статус радиационно-экологического заповедника. Направление развития – обеспечение установленного режима заповедника.

Кроме приведенных направлений экономического развития выделенных зон повсеместно необходимо усиление пожарной безопасности лесов, которые в Гомельской области отличаются повышенной уязвимостью в данном отношении. Это же касается радиационной безопасности. В то же время экологическое состояние территории, связанное с ее радиоактивным загрязнением, будет последовательно улучшаться по мере естественного распада радионуклидов.

Заключение. В ландшафтной структуре Гомельской области доминирующее положение занимают равнинные и низинные ландшафты с широким распространением песчаных покровных отложений, обладающих низким естественным плодородием и уязвимых к засухам, что обуславливает сравнительно низкий уровень ее сельскохозяйственного освоения и, наоборот, высокую степень сохранности естественных экосистем, особенно лесов. Внутриобластные различия в хозяйственном использовании территории соответствуют ее ландшафтному строению и отражают рост его интенсивности в направлении с юго-запада на северо-восток, по мере перехода от равнинных с песчаными отложениями и низинных заболоченных ландшафтов к равнинным ландшафтам с супесчаными отложениями.

В выполненнном эколого-хозяйственном зонировании области нашло отражение основное требование ее устойчивого развития, которое заключается в сбалансированном обеспечении социально-

экономических и экологических интересов, посредством выделения зон трех типов: повышенной экологической ценности, преимущественно хозяйственного назначения, высокого радиоактивного загрязнения.

Зона первого из приведенных типов представлена пойменными и прилегающими к ним ландшафтами крупных рек, занятymi естественными лесными, луговыми и болотными экосистемами и имеющими статус ядер и коридоров национальной экологической сети. Зоны второго типа являются относительно сходными по эколого-хозяйственным свойствам, что обусловлено преобладанием в пределах каждой из них сельскохозяйственного и лесохозяйственного направлений природопользования. Существующие между этими зонами различия связаны с разными соотношениями присущих им сочетаний ландшафтов, сельскохозяйственных и лесных земель, а также уровня мелиорации и радиоактивного загрязнения, что предопределяет выбор для каждой из них своих особых приоритетов экологической оптимизационной деятельности. К зоне третьего типа отнесена территория радиационно-экологического заповедника.

Сложившаяся к настоящему времени эколого-хозяйственная специализация различных зон должна сохраниться на перспективу. В качестве общего резерва их экономического роста может выступить более полное использование для туристических и производственных нужд ресурсов естественных экосистем, особенно лесных и речных, а также внедрение глубокой переработки первичного сырья, позволяющей получать продукцию с высокой добавленной стоимостью. В первую очередь это относится к зонам с низким уровнем сельскохозяйственного освоения, для социально-экономического развития которых подобные ресурсы особенно важны.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского фонда фундаментальных исследований. Договор № X18УКА-032.

Список использованных источников

1. Кобалинский, М. В. Эколого-хозяйственное зонирование как основа устойчивого развития ресурсных территорий (на примере Красноярского края) / М. В. Кобалинский, В. Г. Сибгатулин // Журнал СФУ. Гуманитарные науки. – 2016. – Т. 9, № 11. – С. 2616–2626.
2. Разумовский, В. М. Эколого-экономическое районирование (теоретические аспекты) / В. М. Разумовский. – Л. : Наука, 1989. – 154 с.
3. Эколого-экономическое районирование как аспект управления состоянием региона / А. М. Трофимов [и др.] // Ученые записки Казанского государственного университета. Естественные науки. – 2008. – Т. 150, кн. 4. – С. 125–141.
4. Бурцева, Е. И. Эколого-экономическое районирование Республики Саха (Якутия) / Е. И. Бурцева // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. – 2005. – Т. 2, № 1. – С. 111–119.
5. Гилева, Л. Н. Эколого-хозяйственное зонирование как основа устойчивого развития северных территорий / Л. Н. Гилева // Омский научный вестник. Сер. Ресурсы Земли. Человек. – 2012. – № 1. – С. 224–228.
6. Троценко, М. А. Природно-хозяйственное зонирование и устойчивое развитие территории Волгоградской области / М. А. Троценко, Н. О. Рябинина // Вопросы степеведения. – 2014. – № 12. – С. 162–166.
7. Булатова, Г. Н. Интегральное эколого-экономическое моделирование регионов с использованием ГИС-технологий / Г. Н. Булатова, Н. И. Афанасьева, Д. А. Семенов // Георесурсы. – 2017. – Т. 19, № 4. – Ч. 2. – С. 383–392.
8. Неверов, А. В. Интегральное эколого-экономическое районирование Республики Беларусь / А. В. Неверов, Е. И. Сидорова // Труды БГТУ. Сер. VII, Экономика и управление. – Минск, 2008. – Вып. XVI. – С. 94–98.
9. Эколого-хозяйственное зонирование Припятского Полесья / М. И. Струк [и др.] // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья : сб. докл. Междунар. науч. конф., Минск, 14–17 сент. 2016 г. – Минск : Беларусская наука, 2016. – Т. 1. – С. 304–308.
10. Марцинкевич, Г. И. Современные ландшафты Белорусского Полесья: районирование, направления оптимизации / Г. И. Марцинкевич, И. И. Счастная // Вестник БГУ. Сер. 2. – 2011. – № 3. – С. 101–105.
11. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года. Одобрено протоколом заседания Президиума Совета Министров Республики Беларусь от 02.05.2017 г. № 10.
12. Ландшафтная карта Белорусской ССР. Масштаб 1 : 600 000. – М., 1984.
13. Логинов, В. Ф. Весенние половодья на реках Беларуси: пространственно-временные колебания и прогноз / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, Ан. А. Волчек. – Минск : Беларуская наука, 2014. – 244 с.
14. Республика Беларусь. Ландшафтная карта. М 1 : 100 000 / сост. Г. И. Марцинкевич, И. И. Счастная, И. П. Усова. – Минск : Белкартография, 2014.
15. Струк, М. И. Региональные особенности оптимизации окружающей среды Беларуси / М. И. Струк. – Минск : Беларуская наука, 2007. – 252 с.
16. Полезные ископаемые Беларуси / редкол.: П. З. Хомич [и др.]. – Минск, 2002. – 528 с.
17. Сельское хозяйство Республики Беларусь : стат. сб. / Министерство статистики и анализа Республики Беларусь. – Минск, 2004. – 290 с.

18. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь. Комитет по земельным ресурсам, геодезии и картографии при Совете Министров Республики Беларусь. – Минск, 2001. – 432 с.
19. Почвы Белорусской ССР / под ред. Т. Н. Кулаковской [и др.]. – Минск : Ураджай, 1974. – 328 с.
20. Реестр земельных ресурсов Республики Беларусь (по состоянию на 1 января 2018 года). – Минск, 2018. – 57 с.
21. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь : стат. сб. / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2018. – 228 с.
22. Схема национальной экологической сети / утв. Указом Президента Республики Беларусь от 13.03.2018 г. № 18.

References

1. Kobalinskij M. V., Sibgatulin V. G. *Ekologo-hozyajstvennoe zonirovanie kak osnova ustojchivogo razvitiya resursnyh territorij (na primere Krasnoyarskogo kraja)* [Ecological and economical zoning as the base of stable development of resource territories (on the example of Krasnoyarsk Krai)] *Zhurnal SFU. Gumanitarnye nauki = Journal of Siberian Federal University. Humanitarian sciences*. 2016, vol. 9, no. 11, pp. 2616–2626. (in Russian)
2. Razumovskij B. M. *Ekologo-ekonomiceskoe rajonirovanie (teoreticheskie aspekty)* [Ecological and economical zoning (theoretical aspects)]. Lenigrad, 1989, 154 p. (in Russian)
3. Trofimov A. M., et al. *Ekologo-ekonomiceskoe rajonirovanie kak aspekt upravleniya sostoyaniem regiona* [Ecological and economical zoning as the aspect of the management of the state of a region]. *Uchenye zapiski Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki = Scientific notes of Kazan State University. Nature sciences*, 2008, vol. 150, book 4, pp. 125–141. (in Russian)
4. Burceva E. I. *Ekologo-ekonomiceskoe rajonirovanie territorii Respubliki Saha (Yakutiya)* [Ecological and economical zoning of the territory of the Republic of Sakha (Yakutia)]. *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta = Vestnik of North-Eastern Federal University*. 2005, vol. 2, no. 1, pp. 111–119. (in Russian)
5. Gileva L. N. *Ekologo-hozyajstvennoe zonirovanie kak osnova ustojchivogo razvitiya severnyh territorij* [Ecological and economical zoning as the base of stable development of the northern territories]. *Omskij nauchnyj vestnik. Seriya: Resursy Zemli. Chelovek = Omsk Scientific Vestnik. Series: Earth Resources. Person*, 2012, no. 1, pp. 224–228. (in Russian)
6. Trocenko M. A., Ryabinina N. O. *Prirodno-hozyajstvennoe zonirovanie i ustojchivoe razvitiye territorii Volgogradskoj oblasti* [Nature and economical zoning and stable development of the territory of Volgograd Oblast]. *Voprosy stepovedeniya = Problems of steppe science*, 2014, no. 12, pp. 162–166. (in Russian)
7. Bulatova G. N., Afanas'eva N. I., Semenov D. A. *Integral'noe ekologo-ekonomiceskoe modelirovanie regionov s ispol'zovaniem GIS-tehnologij* [Integral ecological and economical modeling of regions with GIS-technology use]. *Georesursy = Georesources*. 2017, vol. 19, no. 4, part 2, pp. 383–392. (in Russian)
8. Neverov A. V., Sidorova E. I. *Integral'noe ekologo-ekonomiceskoe rajonirovanie Respubliki Belarus'* [Integral ecological and economical zoning of the Republic of Belarus]. *Trudy BGTU. Seriya VII: Ekonomika i upravlenie = Proceedings of BSTU. Series VII: Economy and Management*, Minsk, 2008, issue. XVI, pp. 94–98. (in Russian)
9. Struk M. I., et al. *Ekologo-hozyajstvennoe zonirovanie Pripyatskogo Poles'ya* [Ecological and economical zoning of Prypjat Polesie]. *Sbornik dokl. Mezhdunar. nauch. konf. "Problemy racionarnogo ispol'zovaniya prirodnih resursov i ustojchivoe razvitiye Poles'ya"* [Proc. Int. Sci. Conf. 'Problems of rational use of natural resources and sustainable development of Polesie']. Minsk, 14–17 September 2016, Minsk, 2016, vol. 1, pp. 304–308. (in Russian)
10. Marcinkevich G. I., Schastnaya I. I. *Sovremennye landshafty Belorusskogo Poles'ya: rajonirovanie, napravleniya optimizacii* [Modern landscapes of Belarusian Polesie: zoning, directions of optimization]. *Vestnik BGU = BSU Herald*. 2011, Ser. 2, no. 3, pp. 101–105. (in Russian)
11. *Nacional'naya strategiya ustojchivogo social'no-ekonomiceskogo razvitiya Respubliki Belarus' na period do 2030 goda* [National strategy of stable social and economic development of the Republic of Belarus for the period to 2030]. Odob. protokolom zasedaniya Prezidiuma Soveta Ministrov Respubliki Belarus' ot 02.05.2017. № 10 [Approved by the protocol of meetings of the Presidium of the Council of Ministers of the Republic of Belarus from 02.05.2017. № 10]. (in Russian)
12. *Landshaftnaya karta Belorusskoy SSR. Masshtab 1 : 600 000* [Landscape map of Belarusian SSR. 1 : 600 000 Scale]. Moscow, 1984. (in Russian)
13. Loginov V. F., Volchek A. A., Volchek An. A. *Vesennie polovod'ya na rekah Belarusi: prostranstvenno-vremenennye kolebaniya i prognoz* [Spring floods on the rivers of Belarus: spatio and temporal fluctuations and the forecast]. Minsk, 2014, 244 p. (in Russian)
14. *Respublika Belarus'. Landshaftnaya karta. M 1 : 100 000* [Republic of Belarus. Landscape map. 1 : 100 000 Scale. Creat. by G. I. Marcinkevich, I. I. Schastnaya, I. P. Usova]. Minsk, Belkartografiya Publ., 2014. (in Russian)
15. Struk M. I. *Regional'nye osobennosti optimizacii okruzhayushchej sredy Belarusi* [Regional features of the optimization of the environment of Belarus]. Minsk, 2007, 252 p. (in Russian)
16. *Poleznye iskopaemye Belarusi* [Nature resources of Belarus. Ed. Homich P. Z. and ea.]. Minsk, 2002, 528 p. (in Russian)
17. *Sel'skoe hozyajstvo Respubliki Belarus'. Statisticheskij sbornik* [Agriculture of the Republic of Belarus. Statistical coll]. Ministerstvo statistiki i analiza Respubliki Belarus' [Ministry of statistics and analysis of the Republic of Belarus']. Minsk, 2004, 290 p. (in Russian)
18. *Pochvy sel'skohozyajstvennyh zemel' Respubliki Belarus'* [Soils of the agricultural lands of the Republic of Belarus.]. Komitet po zemel'nym resursam, geodezii i kartografii pri Sovete Ministrov Respubliki Belarus' [Committee on

- Land Resources, Geodesy and Cartography under the Council of Ministers of the Republic of Belarus]. Minsk, 2001, 432 p. (in Russian)
19. *Pochvy Belorusskoj SSR* [Soils of Belarusian SSR, ed. by T. N. Kulakovskoj, et al.]. Minsk, 1974, 328 p. (in Russian)
20. *Reestr zemel'nyh resursov Respubliki Belarus'* (po sostoyaniyu na 1 yanvarya 2018 goda) [Land Register of the Republic of Belarus (January 1, 2018)]. Minsk, 2018, 57 p. (in Russian)
21. *Ohrana okruzhayushchej sredy v Respublike Belarus'*. *Statisticheskij sbornik* [Environmental protection in the Republic of Belarus. Statistical coll.]. *Nacional'nyj statisticheskij komitet Respubliki Belarus'* [National statistical Committee of the Republic of Belarus]. Minsk, 2018, 228 p. (in Russian)
22. *Skhema nacional'noj ekologicheskoj seti* [The scheme of National ecological network]. *Utv. Ukazom Prezidenta Respubliki Belarus'* 13.03.2018, no. 18 [Approved by the Decree of the President of the Republic of Belarus, May, 13, 2018, no. 18]. (in Russian)

Информация об авторе

Струк Михаил Игоревич – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: Struk-17@mail.ru

Information about the author

Mikhail I. Struk – Ph. D. (Geography), Leading Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: Struk-17@mail.ru

ОЦЕНКА СРЕДОФОРМИРУЮЩИХ ФУНКЦИЙ ПРИРОДНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРКАСА ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ г. МИНСКА)

Л. А. Кравчук, А. А. Яновский, Н. М. Баженова, Е. В. Санец

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Для оценки средоформирующих функций природно-экологического каркаса использовались данные о функциональных типах городской территории, структуре застройки, природных и природно-антропогенных ландшафтов, на основании чего выделялись различные климатопы. Для Минска выделено 16 типов и 50 видов климатопов. В разрезе видов климатопов и элементов природно-экологического каркаса проведена дифференцированная оценка температуры подстилающей поверхности (LST), вегетационного индекса NDVI, индекса листовой поверхности (LAI) и содержания хлорофилла в пологе (CCC).

Низкие показатели LST регистрировались в водных климатопах, увеличиваясь в зависимости от их площади и антропогенной преобразованности. Ландшафтно-рекреационные территории характеризуются низкими значениями LST; последовательное их увеличение регистрируется в ряду климатопов природных, полуприродных и антропогенно-нарушенных ландшафтов. В климатопах застроенной части города LST достигает наиболее высоких значений в производственной и коммунально-складской застройке.

Значения NDVI, LAI, CCC в различных элементах природно-экологического каркаса городской территории демонстрируют наиболее высокие показатели в ядрах I и II порядка, несколько ниже они в коридорах I и II порядка, в ядрах и коридорах III порядка. Значения LST изменяются в противоположном направлении.

Ключевые слова: город; природно-экологический каркас; климатоп; дистанционное зондирование; NDVI; LAI; CCC; LST.

Для цитирования. Кравчук Л. А., Яновский А. А., Баженова Н. М., Санец Е. В. Оценка средоформирующих функций природно-экологического каркаса городской территории (на примере г. Минска) // Природопользование. – 2020. – № 1. – С. 76–85.

EVALUATION OF ENVIRONMENT-FORMING FUNCTIONS OF NATURAL-ECOLOGICAL FRAMEWORK OF A CITY (ON THE EXAMPLE OF MINSK)

L. A. Kravchuk, A. A. Yanovskiy, N. M. Bazhenova, E. V. Sanets

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

Abstract. We used data on the functional types of the urban territory, the development structure, natural and natural-anthropogenic landscapes to identify the effectiveness of the implementation of the environment-forming functions by various elements of the natural-ecological framework, on the basis of which various climatopes were distinguished.

16 types and 50 species of climatopes have been identified for Minsk. In the context of climatopes species and elements of the natural ecological framework, a differentiated assessment of Land Surface Temperature (LST), the vegetation index NDVI, the leaf area index (LAI) and the Canopy Chlorophyll Content (CCC).

Low LST values were recorded for water climatopes – they increased in the series from large reservoirs to small drying water bodies. The landscape-recreational territories are characterized by low LST values; their successive increase is recorded in a series of natural, semi-natural, and anthropogenic disturbed landscapes. In the climatopes of the built-up part of the city LST reaches the highest values in industrial and communal-warehouse territories.

The values of NDVI, LAI and CCC in various elements of the natural-ecological framework of the urban territory demonstrate the highest indices in nuclei of the first and second levels. In the corridors of the first and second levels and in the nuclei and corridors of the third level they are lower. LST values change in the opposite direction.

Keywords: city; natural-ecological framework; climatope; remote sensing; NDVI; LAI; CCC; LST.

For citation. Kravchuk L. A., Yanovskiy A. A., Bazhenova N. M., Sanets E. V. Evaluation of environment-forming functions of natural-ecological framework of a city (on the example of Minsk). *Nature Management*, 2020, no. 1, pp. 76–85.

Основные функции природных экосистем заключаются: в поддержании биогеохимических циклов вещества, газового баланса и влажности атмосферы; стабилизации климатических показателей; формировании устойчивого гидрологического режима территории и очищении природных вод; формировании биопродуктивности почв и защите их от эрозии; уменьшении интенсивности экстремальных природных явлений (наводнений, засух, жары, ураганов и др.).

Для экологически устойчивого развития урбанизированной территории ее природно-экологический каркас должен включать участки, наиболее значимые для выполнения средоформирующих, средозащитных и рекреационных функций, сохранения биологического и ландшафтного разнообразия. В природно-экологическом каркасе г. Минска [1] выделены следующие элементы: линейные – экологические коридоры (долинные комплексы рек, овраги, балки, клинья лесов, насаждений), узловые – ядра (высокопродуктивные, значимые для отдыха и сохранения биоразнообразия природные и природно-антропогенные объекты). Ядра и коридоры природно-экологического каркаса в пределах городской территории ранжированы по уровню значения – городского, районного и местного [1]. Выделены также участки, требующие реабилитации, и «коридоры проветривания» (сельскохозяйственные угодья на входе воздушных масс в город).

Эффективное выполнение элементами природно-экологического каркаса средоформирующих функций (в том числе климаторегулирующих), особенно важно в связи с высокой концентрацией населения, интенсивностью вещественно-энергетического обмена, трансформацией параметров ландшафтного покрова, микроклиматических условий и других изменений среды обитания. Однако функционирование различных природных комплексов в урбанизированных условиях Беларуси исследовалось в основном на примере лесов [2].

Проведение инструментальных исследований микроклиматических особенностей того или иного участка городской территории предполагает многолетние одновременные наблюдения в различных типах застроенных и открытых пространств с использованием соответствующей метеорологической техники. Обеспеченность такой техникой (передвижные метеостанции) в Беларуси недостаточная, что делает практически невозможным осуществление синхронизированных во времени наблюдений в различных структурно-планировочных образованиях в городе.

В климатологии и градостроительстве одним из приемов оценки микроклиматических особенностей урбанизированных территорий является дифференциация их на участки со сходными характеристиками трансформации микроклиматических особенностей среды. Последние определяются структурой и состоянием городских экосистем, формой и интенсивностью градостроительного преобразования территории. Такие территориальные образования получили название «климатопы» [3]. Среди них выделяются водные, луговые, лесные и лесопарковые климатопы, климатопы низкоплотной малоэтажной (усадебной) застройки, высокоплотной застройки повышенной этажности, коммерческо-деловых центров, исторической застройки, коммунально-складских зон, производственных зон, транспортных магистралей и др.

В Западной Европе и США система климатопов используется в основном для целей исследования экологических функций урбанизированных ландшафтов, а также для градостроительного планирования [4]. В последнее время для унификации исследований островов тепла в городах предлагается выделять локальные климатические зоны (Local Climate Zones – LCZ) [4]. Разработана их классификация, основанная на особенностях структуры подстилающей поверхности. Система LCZ для урбанизированных территорий западных стран включает 17 типов зон, выделяемых в масштабе от 10^2 до 10^4 м. Каждый тип отличается степенью антропогенного преобразования (плотность, этажность, материалы строений, доля поверхностей с тем или иным типом покрытия) и особенностями растительного покрова, что во многом детерминирует основные характеристики микроклимата.

Для диагностики средоформирующих функций городских экосистем, наряду с использованием наземных исследований и методов моделирования, целесообразно применять технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), которые позволяют получить необходимые характеристики ландшафтов в требуемом территориальном и временном диапазоне. Анализ подходов к исследованию ландшафтов, в том числе в урбанизированных условиях, показал их достаточно широкое применение [5–8].

Для оценки средоформирующих функций элементов природно-экологического каркаса были использованы географические информационные системы (ГИС) и ДЗЗ. На основании данных о структуре и функциональной специфике застройки, особенностях природных и природно-антропогенных комплексов на территории г. Минска в ГИС-проекте были выделены различные типы и виды климатопов (см. таблицу).

Для каждого конкретного города типология климатопов может уточняться с учетом особенностей формирования природных комплексов и градостроительных структур в конкретной ландшафтно-экологической обстановке.

С целью выявления роли природно-экологического каркаса городской территории в создании благоприятных микроклиматических условий были исследованы значения температуры подстилающей поверхности (Land Surface Temperature – LST) для территории г. Минска. Как показывают работы [9, 10], температура подстилающей поверхности коррелирует с температурой атмосферного воздуха и почвенного покрова.

Типы и виды климатопов для территории города г. Минска

Types and species of climatopes for the territory of Minsk

Тип климатопа		Вид климатопа		
Индекс	Название (код)	Индекс	Код	Название / особенности
1	водный	1.0	Всух	периодически пересыхающие или пересохшие водоемы
		1.1	ВхрОз	озерно-водоемные (водохранилища, озера площадью >10 га)
		1.2	Р	речевые (реки, их участки с сохранившимися руслами и течением, открытые каналы на базе русел рек)
		1.3	МГВО	малые городские водные объекты
		1.4	ОС	сооружения водоочистки (очистные поверхностного стока)
		1.5	Кан	каналы мелиоративной системы
		1.6	Внар	зоны гидрологических нарушений
2	лугопарковый (ЛГ)	2.1	ЛГ	лугопарки в водораздельных условиях
		2.2	ЛГп	лугопарки в поймах рек
3	лесной	3.1	ЛС	крупные массивы леса
		3.2	ЛСП	лесопарки
		3.3	ЛСПв	леса, лесопарки вблизи водных объектов
		3.4	Лфр	небольшие изолированные участки леса
		3.5	ЛСБ	лесоболотные комплексы
4	парковый	4.1	Парк 1	парки с высоким участием рекреационной инфраструктуры
		4.2	Парк 2	прогулочные парки
		4.3	Парк В	парки, скверы, бульвары вблизи водных объектов
		4.4	Кл	кладбища
5	сельскохозяйственный (СХ)	5.1	СХпах	пахотные земли
6	малые ландшафтные формы (МЛФ)	6.1	МЛФс	скверы, сады, озелененные территории общественных центров в застроенной части города
		6.2	МЛФб	бульвары
		6.3	МЛФ	другие
7	жилая многоквартирная застройка (ЖМ)	7.1	ЖМв	высокоплотная
		7.2	ЖМс	среднеплотная
		7.3	ЖМн	низкоплотная
8	жилая усадебная застройка (ЖУ)	8.1	ЖУв	высокоплотная
		8.2	ЖУс	среднеплотная
		8.3	ЖУн	низкоплотная
9	исторический центр (ИЦ)	9.1	ИЦз	с замкнутыми пространствами дворов
		9.2	ИЦнз	с незамкнутыми пространствами дворов
10	общественная застройка (О)	10.1	Оа-д	административно-деловая
		10.2	Ол-о	лечебно-оздоровительная
		10.3	ОН-о	научно-образовательная
		10.4	От-б	торгово-бытовая
		10.5	Оспорт	спортивная
		10.6	Ок-п	культурно-просветительная
		10.7	Осп	специализированная и смешанная
11	производственная застройка (П)	11.1	П I	с небольшим участием (отсутствием) насаждений
		11.2	П II	с высоким участием насаждений
12	коммунально-складская застройка (КС)	12.1	КСг	гаражи
13	дорожный (ДОР)	13.1	ЖД	железные дороги
		13.2	ДОР	магистрали, улицы
		13.3	ДОРсп	стоянки, парковки
		13.4	ДОРинф	автозаправочные станции, депо, разворотные кольца и др.
14	резервные озелененные территории (РОТ)	14.1	РОТдкр	с древесно-кустарниковой растительностью (ДКР)
		14.2	РОТ	с небольшим количеством ДКР либо без нее
		14.3	РОТдкрп	ДКР в поймах рек
15	территории специального назначения (СП)	15.1	СП 1	посольства, резиденции и др.
		15.2	СП 2	полигоны, автодромы и др.
16	участки незавершенного строительства (УЗ)	16.1	УЗ	участки незавершенного строительства

Тепловое зондирование Земли из космоса в настоящее время выполняется спектрорадиометрами среднего пространственного разрешения на спутниках Landsat 5 (1 канал, 120 м), Landsat 7 (1 канал, 60 м), Landsat 8 (2 канала, 100 м), ASTER (5 каналов, 90 м), а также метеорологическими спутниками с существенно худшим пространственным разрешением. При этом тепловые каналы спутников серии Landsat (яркостная температура) приводятся к разрешению 30 м путем передискретизации методом «кубическая свертка», вследствие чего рассчитанная на их основе кинетическая температура поверхности характеризуется еще меньшим, чем номинальное, эффективным пространственным разрешением. Поэтому для исследования особенностей этого показателя на территории г. Минска использованы снимки спектрорадиометра ASTER.

Единственный малооблачный снимок ASTER для г. Минска в пределах перспективной городской черты (с учетом Заславского водохранилища и прилегающих лесов) в вегетационный период 2017 г. имеет дату съемки 14 августа. В работе использован полученный на основе данного снимка продукт AST_08 v003 (*ASTER L2 Surface Kinetic Temperature*). При расчете AST_08 в качестве источника профилей температуры и влажности атмосферы выбран продукт MOD07_L2, значений содержания в атмосфере озона – Total Ozone Analysis using Solar Backscatter UltraViolet Version 2 (SBUV/2) и TOVS (TOAST)/Earth Probe-Total Ozone Mapping Spectrometer (EPTOMS). Для оценки содержания в атмосфере аэрозолей использованы данные глобальной модели аэрозолей Научно-исследовательской лаборатории ВМС США (Naval Research Laboratory). Фильтрация отдельных мелких облаков (преимущественно над северной частью г. Минска) на полученном изображении выполнена путем исключения пикселей со значениями температуры поверхности менее 20 °C.

Для исследований средоформирующих особенностей различных градостроительных структур г. Минска, в том числе элементов природно-экологического каркаса, выполнены расчеты значений кинетической температуры подстилающей поверхности в разрезе выделенных климатопов. Полученные значения LST в различных климатопах на территории г. Минска приведены на рис. 1–3, из которых видно, что на момент исследований в классе незастроенных территорий, являющихся в основном ядрами и коридорами природно-экологического каркаса города, наиболее низкими средними значениями LST характеризуются лесные и водные климатопы (рис. 1, 2), при этом сравнительно низкие значения в лесах и парках обусловлены активной транспирацией древесной растительности в процессе фотосинтеза.

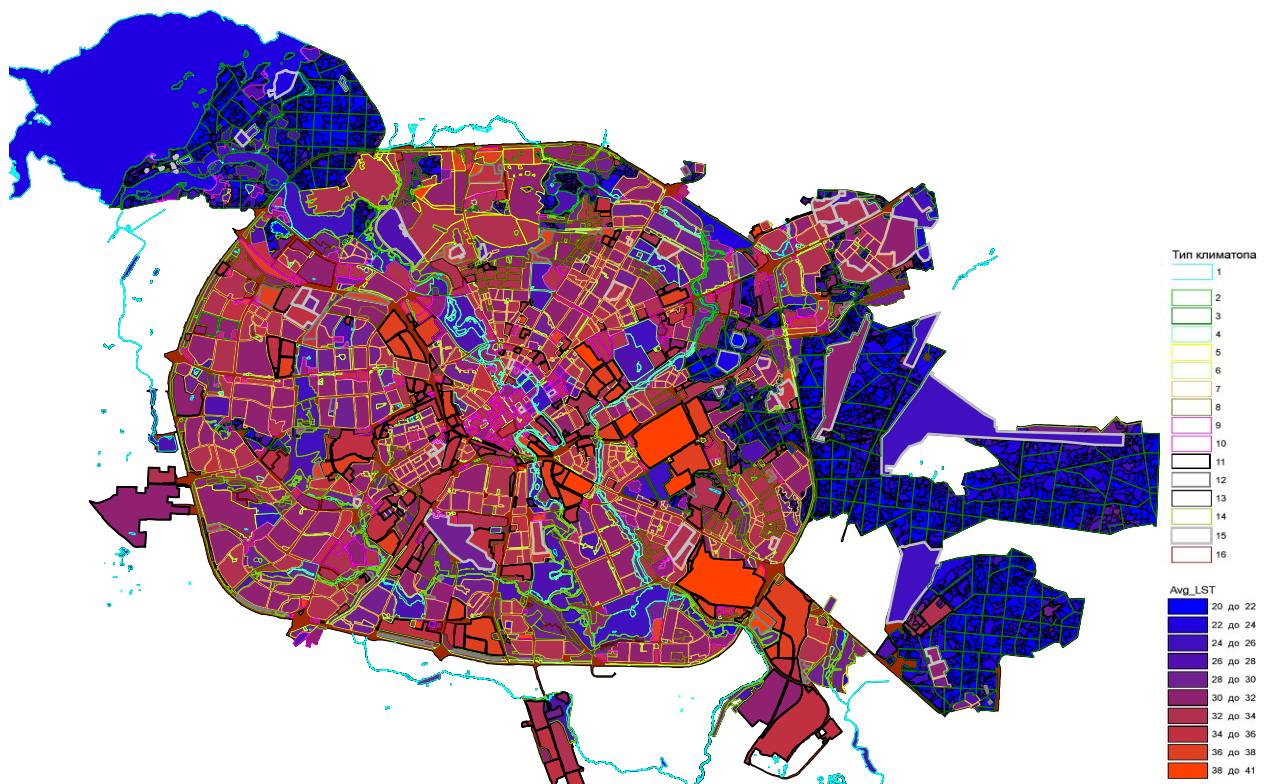


Рис. 1. Средние значения LST в различных климатопах г. Минска
 (здесь и на рис. 2–4 по результатам обработки снимка ASTER с датой съемки 14.08.2017 г.).
 Условные обозначения: типы климатопов (1–16) приведены согласно таблице

Fig. 1. The average LST values in various climatopes of the city of Minsk
 (here and on Fig. 2–4 according to the results of processing of ASTER image, acquired on 08/14/2017).
 Legend: types of climatopes (1–16), according to table

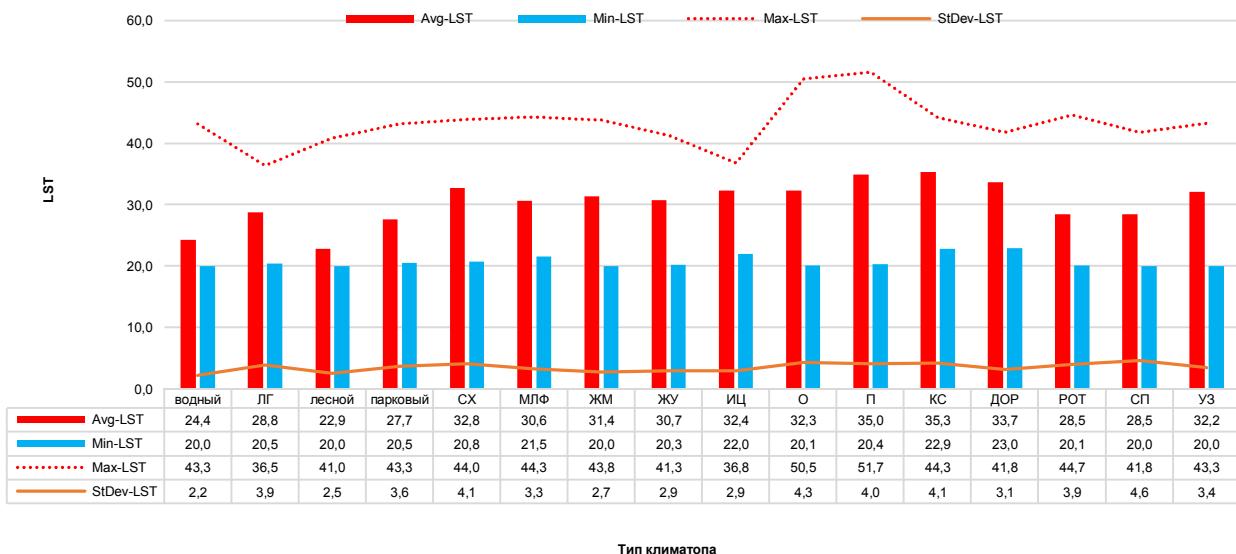


Рис. 2. Значения LST в основных типах климатопов г. Минска

Fig. 2. LST values in the main types of climatopes in Minsk

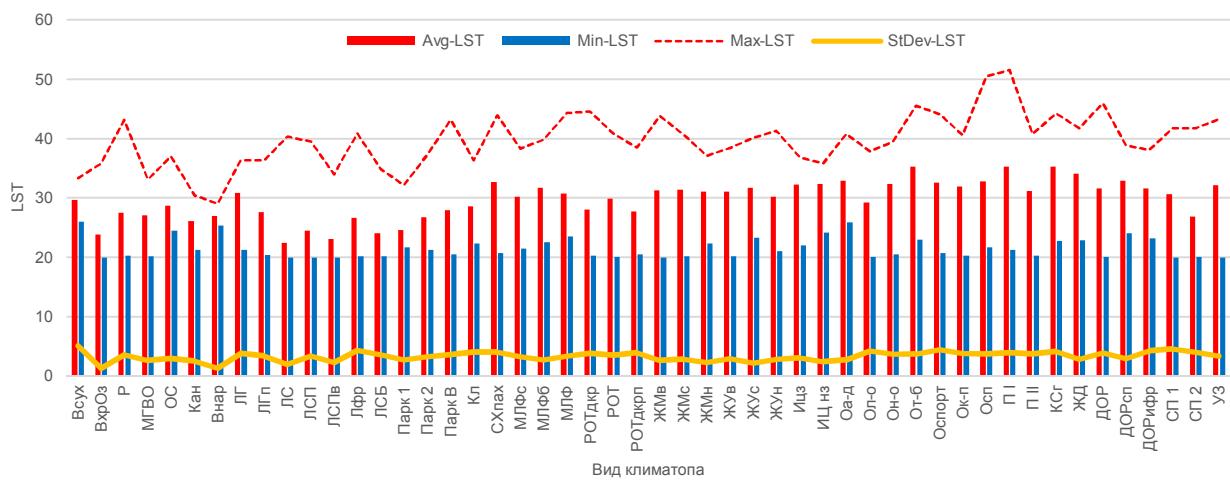


Рис. 3. Значения LST в различных видах климатопов г. Минска

Fig. 3. LST values in the various kinds of climatopes of Minsk

Значения LST ниже средних по городу отмечены для крупных водоемов (водохранилища Заславское, Криница, Дрозды, Чижковское, Цнянское). Обращают на себя внимание отдельные участки р. Свисочи, температура которых повышенна по сравнению с прилегающей территорией. Как правило, эти участки реки испытывают на себе воздействие сброса поверхностных сточных вод дождевой канализации. Охлаждающее влияние малых городских водных объектов, расположенных в пределах городской застройки, при данном пространственном разрешении снимков практически нивелируется прилегающей территорией. Показатели LST водных климатопов увеличиваются в ряду: крупные водохранилища < МГВО < реки, каналы < зоны гидрологических нарушений < сооружения водоочистки < пересыхающие водные объекты (рис. 3).

Варьирование LST отмечается в лесных, лугопарковых и парковых климатопах и зависит от структуры растительного покрова, его фрагментированности, приуроченности к водным объектам. В небольших массивах леса, расположенных фрагментами на сельхозугодьях, значения LST несколько выше, чем в крупных лесных массивах. Повышенными значениями LST характеризуются малые ландшафтные формы (скверы, бульвары). Для небольших скверов и бульваров значения LST практически не отличаются по сравнению с окружающей застройкой. Это возможно объяснить, с одной сто-

роны, высокой долей рекреационной инфраструктуры, ослабленным состоянием насаждений в них [11], а с другой – разрешающей способностью снимка (попаданием в один пиксель нескольких классов поверхностей, например, растительности и территорий с искусственным покрытием).

На пахотных угодьях LST существенно варьирует и определяется, очевидно, видом и стадией развития сельхозкультур (на момент съемки на большей части сельскохозяйственных угодий проведена уборка культур).

Таким образом, установлено, что на момент исследования показатели LST последовательно увеличиваются в ряду леса (в том числе лесоболотные комплексы), лесопарки, парки < лугопарки < РОТ (неудобья с древесно-кустарниковой растительностью, пустыри) < МЛФ (скверы, бульвары) < сельскохозяйственные земли (СХ).

В классе застроенных территорий наиболее высокие средние показатели LST при существенном диапазоне их варьирования отмечаются в климатопах коммунально-складских и производственных территорий, а также торгово-бытовой застройки (преимущественно гипермаркеты). В климатопах жилой многоквартирной, усадебной, общественной застройки и в историческом центре города средние значения LST несколько ниже при высоком варьировании в климатопах общественных территорий разного типа.

Сравнение LST для различных элементов природно-экологического каркаса (рис. 4) показывает наименьшие их значения в ядрах и коридорах I порядка, несколько выше – в ядрах и коридорах II порядка. Высокие показатели регистрируются на участках, подлежащих экологической реабилитации, что в основном обусловлено деградацией растительного покрова. Повышенные значения LST характерны также для коридоров проветривания, к которым отнесены сельхозземли на входе воздушных масс в город.

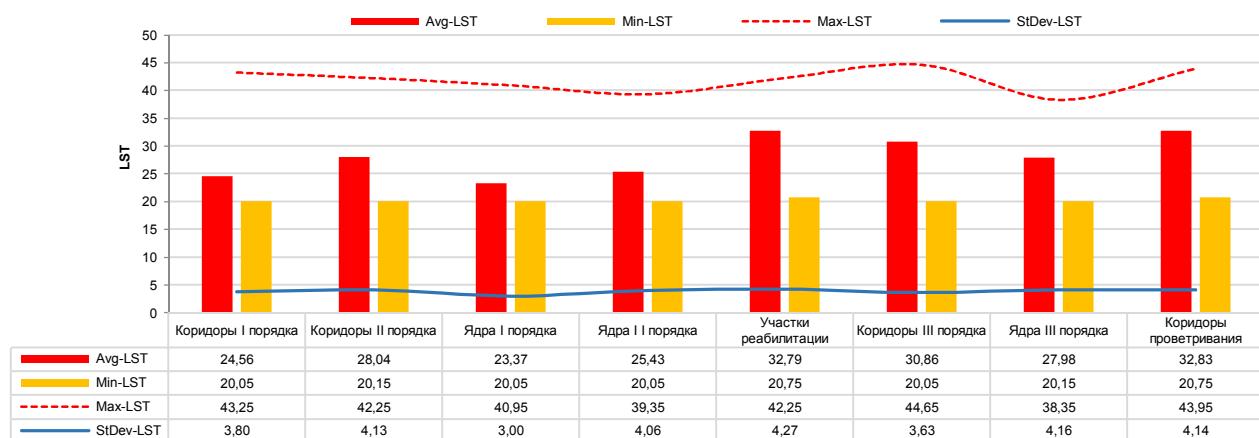


Рис. 4. Значения LST для основных элементов природно-экологического каркаса г. Минска

Fig. 4. LST values for the main elements of the natural-ecological framework of Minsk

Оценку растительного покрова в различных климатопах г. Минска провели по снимку спутника серии Sentinel-2 уровня обработки 1C с датой съемки 12.08.2017 г. Атмосферную коррекцию снимка выполнили с использованием программы обработки Sen2Cor [12]. Снимок Sentinel-2 территории г. Минска подобрали с помощью web-интерфейса Copernicus Open Access Hub [13]. Критерием выбора являлись минимальная облачность (подбирали снимки без облаков и дымки), приемлемый для оценки растительности период активной вегетации, синхронизация во времени с тепловой съемкой. В процессе обработки данных ДЗЗ в разрезе климатопов и элементов природно-экологического каркаса рассчитали значения NDVI [14], LAI и CCC. Для расчета NDVI использовали каналы с пространственным разрешением 10 м. LAI и CCC рассчитывали с помощью модуля L2B (L2B biophysical processor) [15], который использует преимущественно каналы с разрешением 20 м. Для каждого вида климатопа определяли значения NDVI, LAI и CCC для всех пикселей, центры которых попали в данный вид климатопа. Для оценки озелененности того или иного вида климатопа рассчитывали отношение числа пикселей с растительностью к общему числу пикселей выделов климатопа. Для каждого климатопа с диагностированной растительностью рассчитывали средние значения NDVI, LAI и CCC, а также статистические параметры анализируемых показателей. Средние значения NDVI, LAI и CCC в разрезе видов климатопов для территории г. Минска приведены на рис. 5 (для удобства отражения на одной диаграмме значения CCC делили на 100).

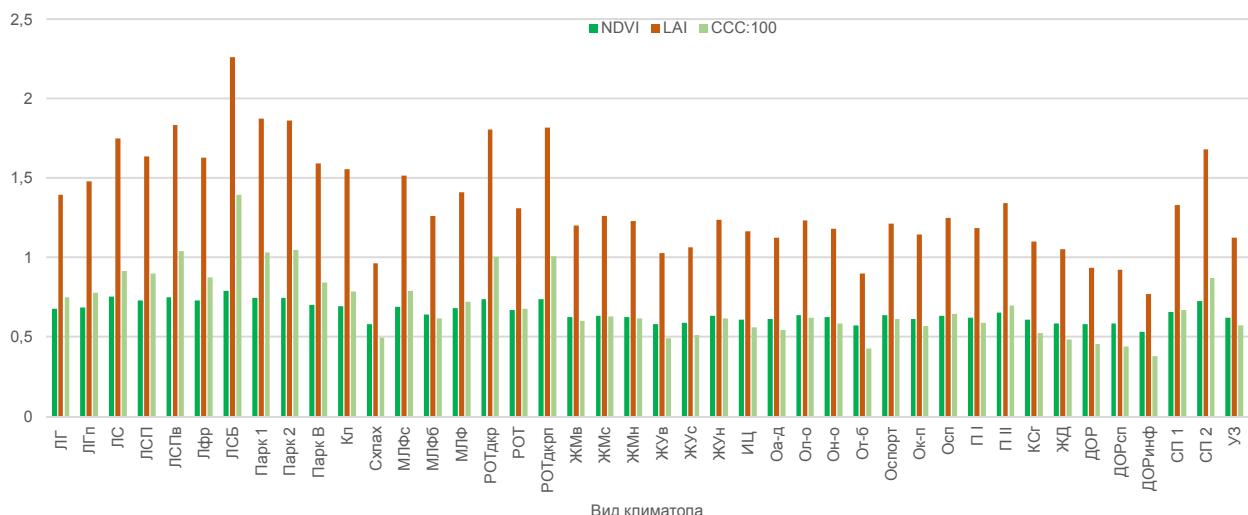


Рис. 5. Средние значения NDVI, LAI и CCC : 100 для озелененных территорий в различных видах климатопов г. Минска

Fig. 5. Average values of NDVI, LAI and CCC : 100 for green areas in the various kinds of climatopes of Minsk

Сравнение NDVI, LAI и CCC в различных элементах природно-экологического каркаса городской территории (рис. 6) демонстрирует наиболее высокие показатели в ядрах I и II порядка, несколько ниже они в коридорах I и II порядка и в ядрах и коридорах III порядка.

Как видно из рис. 6, низкие значения вегетационных индексов характерны для участков коридоров III порядка (скверы и бульвары вблизи улиц и дорог в застроенной части города), что возможно объяснить несколькими причинами: небольшими размерами, приводящими к смешанным пикселям, низкой плотностью посадки деревьев и кустарников, ослаблением насаждений из-за высоких антропогенных нагрузок [11]. Низкие значения вегетационных индексов регистрируются также на участках каркаса, подлежащих экологической реабилитации, что обусловлено ослаблением растительности на них, собственно из-за чего участки и были отнесены к требующим реабилитации. Наиболее низкие показатели отмечаются в коридорах проветривания, приуроченных к сельскохозяйственным угодьям на входе воздушных масс в город (на момент съемки находились на стадии уборки сельскохозяйственных культур).

Коэффициенты корреляции между NDVI, LAI, CCC и LST отрицательны и достаточно высоки для климатопов незастроенных ландшафтно-рекреационных территорий ($-0,86$, $-0,8$, $-0,77$ соответственно), слагающих ядра и коридоры I и II порядка. Они снижаются в элементах каркаса III порядка в застроенной части города ($-0,56$, $-0,57$, $-0,6$ соответственно). Это подтверждает влияние на LST не только структуры и состояния растительного покрова, но и зданий, сооружений, поверхностей с покрытием. Немаловажное значение, очевидно, имеет также разрешение использованных для анализа снимков.

Таким образом, с использованием ГИС, данных о функциональных типах, структуре застройки и ландшафтно-рекреационных территориях в г. Минске выделено 16 типов и 50 видов климатопов. Совместное использование ГИС и спутниковых данных дало возможность провести дифференцированную оценку LST, показателей NDVI, LAI и CCC в разрезе типов и видов климатопов, а также различных элементов природно-экологического каркаса. Это позволило ранжировать климатопы по эффективности выполнения средоформирующих функций на основании данных о LST. Среди водных климатопов максимально эффективно данные функции выполняют крупные водохранилища, далее в ряду эффективности расположены малые городские водные объекты, реки и каналы, зоны гидрологических нарушений, сооружения водоочистки и пересыхающие водные объекты. В составе ландшафтно-рекреационных территорий низкими показателями LST характеризуются леса (в том числе лесоболотные комплексы), лесопарки и парки. Далее в ранжированном ряду следуют лугопарки, РОТ (древесно-кустарниковая растительность неудобий, пустыри), скверы и бульвары, сельскохозяйственные земли. В ряду типов климатопов застроенной части города показатели LST увеличиваются в следующем порядке: специальные территории, жилая усадебная застройка, жилая многоквартирная застройка, общественная застройка, исторический центр, дорожная сеть, производственная застройка, коммунально-складская застройка. В ряду видов климатопов застроенной части наиболее высокими средними значениями LST характеризуется общественная торгово-бытовая застройка (гипермаркеты).

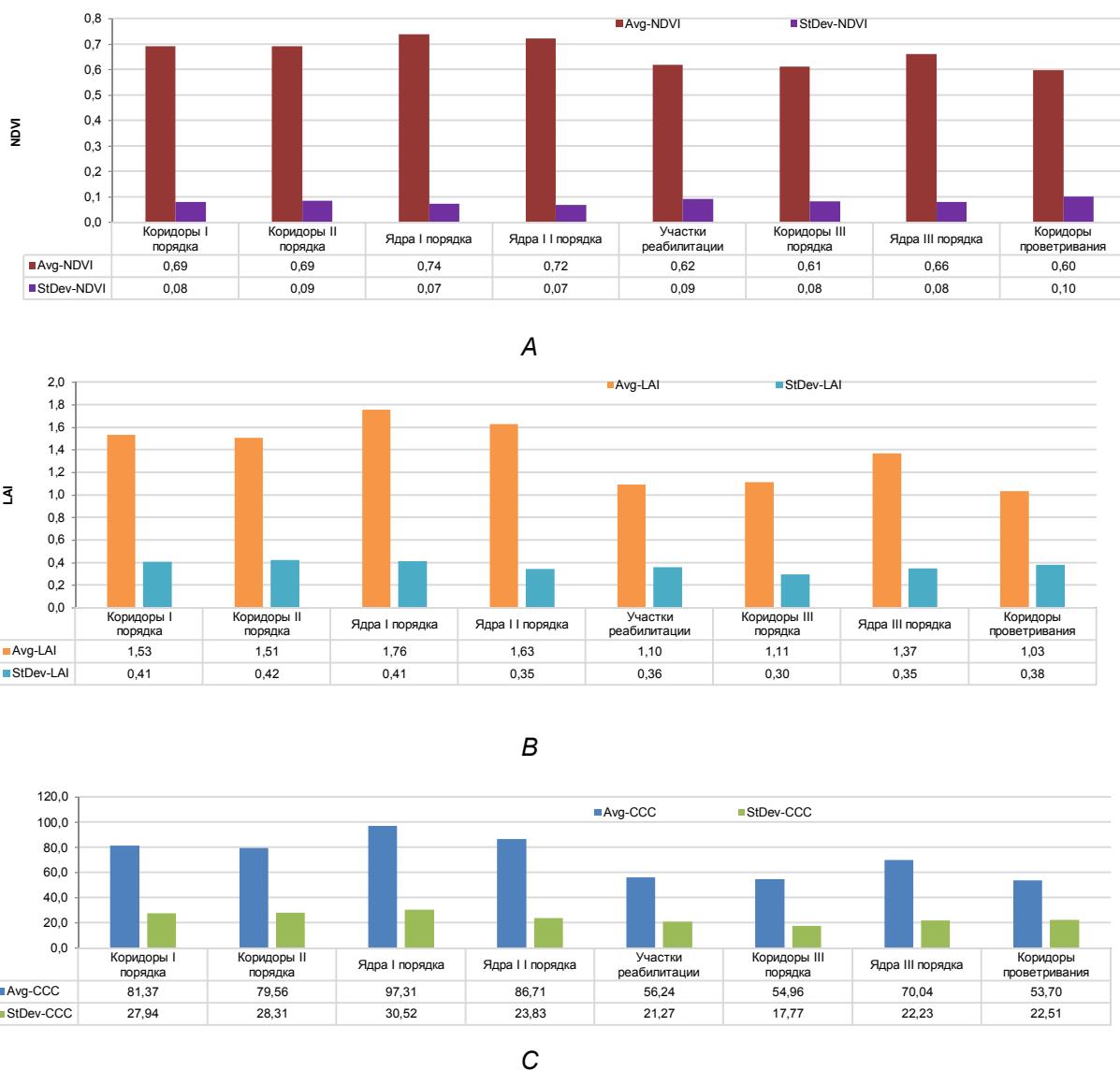


Рис. 6. Средние значения NDVI (A), LAI (B), и CCC (C) для основных элементов природно-экологического каркаса г. Минска

Fig. 6. The average NDVI (A), LAI (B), and CCC (C) for main elements of the natural-ecological framework of Minsk

Наиболее низкие средние значения LST характерны для ядер I и II порядка, несколько выше они в коридорах I и II порядка, в ядрах и коридорах III порядка. Повышение LST отмечено для участков реабилитации (с нарушенной растительностью, отвалами грунтов строительства) и для сельскохозяйственных (пахотных) земель на входе воздушных масс в город («коридоры проветривания»). Установлены высокие отрицательные коэффициенты корреляции (до -0,9) между LST и NDVI, LAI, CCC на территориях, являющихся ядрами и коридорами природно-экологического каркаса I и II порядка. В климатопах застроенной части города, где насаждения отнесены к ядрам и коридорам III порядка, величина корреляции ниже (до -0,6). Это подтверждает высокое значение насаждений в формировании микроклимата городских территорий, особенно в летний период. Следует отметить, что при исследованиях сезонной динамики LST выявленные особенности могут иметь иной характер, что определяется спецификой функционирования растительного покрова, водных объектов, наличием снежного покрова и другими параметрами среды (например, ветер, материал от зданий, сооружений и покрытий). Определенное влияние на значения LST, NDVI, LAI, CCC оказывает также разрешение снимков.

Список использованных источников

1. Природно-экологический каркас как основа зеленой инфраструктуры урбанизированной территории / Л. А. Кравчук [и др.] // Эколого-географические проблемы перехода к зеленой экономике в странах и регионах СНГ / редкол.: В. С. Хомич (гл. ред), В. Ф. Логинов, Е. В. Санец. – Минск, 2019. – С. 116–131.
2. Экологический мониторинг лесных ландшафтов Белоруссии / Е. А. Сидорович [и др.]. – Минск : Наука и техника, 1988. – 206 с.
3. Город, архитектура, человек и климат / М. С. Мягков [и др.]. – М. : Архитектура-С, 2007 – 344 с.
4. Stewart, I. D. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies [Electronic resource] / I. D. Stewart, T. R. Oke. – 2012. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>. – Date of access: 21.03.2019.
5. 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.
6. Remote sensing of urban and suburban areas; eds. T. Rashed, C. Jürgens. – Springer Netherlands, 2010. – 352 p. – doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4385-7>
7. 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.
8. Дифференцированная оценка зеленой инфраструктуры г. Минска с использованием данных дистанционного зондирования Земли / Л. А. Кравчук [и др.] // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 152–167.
9. Балдина, Е. А. Исследование «теплового острова» Москвы по разносезонным снимкам Landsat 7/ETM+ / Е. А. Балдина, М. Ю. Грищенко // Геоинформатика. – 2011. – № 3. – С. 62–69.
10. Spatiotemporal variations in the difference between satellite-observed daily maximum land surface temperature and station-based daily maximum near-surface air temperature / X. Lian [et al.] // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 2017. – Vol. 122, no. 4. – P. 2254–2268. – doi: <https://doi.org/10.1002/2016JD025366>
11. Кравчук, Л. А. Структурно-функциональная организация ландшафтно-рекреационного комплекса в городах Беларуси / Л. А. Кравчук. – Минск : Беларуская навука, 2011. – 171 с.
12. Sen2Cor [Electronic resource]. – 2019. – Mode of access: <https://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/sen2cor/>. – Date of access: 21.03.2019.
13. Copernicus Open Access Hub [Electronic resource]. – 2019. – Mode of access: <https://scihub.copernicus.eu/>. – Date of access: 21.03.2019.
14. Tucker, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation / C. J. Tucker // Remote Sens. Environ. – 1979. – Vol. 8, N 2. – P. 127–150. – doi: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
15. Sentinel-2 Toolbox [Electronic resource]. – 2019. – Mode of access: <http://step.esa.int/main/toolboxes/sentinel-2-toolbox>. – Date of access: 21.03.2019.

References

1. Kravchuk L. A., Homich V. S., Struk M. I., Sanets E. V., Ovcharova E. P., Zhivnach S. G., Romankevich Y. A. *Prirodno-ekologicheskij karkas kak osnova zelenoj infrastruktury urbanizirovannoj territorii* [The natural-ecological framework as the basis of the green infrastructure of the urban area]. Ekologo-geograficheskie problemy perekhoda k zelenoj ekonomike v stranah i regionah SNG [Ecological and geographical problems of the transition to a green economy in the countries and regions of the CIS]. Minsk, 2011, pp. 116–131. (in Russian)
2. Sidorovich E. A., Alekhno A. I., Bus'ko E. G., et al. *Ekologicheskij monitoring lesnyh landshaftov Belorussii* [Ecological monitoring of forest landscapes of Belarus], Minsk, 1988, 206 p. (in Russian)
3. Myagkov M. S., Gubernskij Y. D., Konova L. I., Lickevich V. K. *Gorod, arhitektura, chelovek i klimat* [City, architecture, people and climate]. Moscow, 2007, 344 p. (in Russian)
4. Stewart I. D., Oke T. R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. 2012. Available at: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1> (accessed 21 March 2019).
5. Krenke A. N. *Postroenie karty landshaftnogo pokrova na osnove distancionnoj 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)
6. Remote sensing of urban and suburban areas; eds. T. Rashed, C. Jürgens, Springer, Dordrecht, 2010, 352 p. doi:<https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4385-7>
7. Maksimov M. M., Skachkova, A.S., Kurlovich, D. M. *Ispol'zovanie dannyh distancionnogo zondirovaniya Zemli dlya vremennogo analiza prostranstvennoj differenciacii i sostoyaniya zelenyh zon g. Minska za period s 1997 po 2015 g.* [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)
8. Kravchuk L. A., Yanovskiy A. A., Bazhenova N. M., Pats A. Ch. *Differencirovannaya ocenka zelenoj infrastruktury g. Minska s ispol'zovaniem dannyh distancionnogo zondirovaniya Zemli* [Differentiated assessment of the green infrastructure of Minsk using the data of remote sensing of the Earth]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2019, no. 2, pp. 152–167. (in Russian)
9. Baldina E. A., Grishchenko M. Y. *Issledovanie «teplovogo ostrova» Moskvy po raznosezonnym snimkam Landsat 7/ETM +* [Investigation of the “thermal island” of Moscow using the Landsat 7 / ETM + multi-season images]. *Geoinformatika = Geoinformatics*, 2011, no. 3, pp. 62–69. (in Russian)

10. Lian X., et. al. Spatiotemporal variations in the difference between satellite-observed daily maximum land surface temperature and station-based daily maximum near-surface air temperature. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2017, vol. 122, no. 4, p. 2254–2268. doi: <https://doi.org/10.1002/2016JD025366>
11. Kravchuk L. A. *Strukturno-funktional'naya organizaciya landschaftno-rekreacionnogo kompleksa v gorodah Belarusi* [Structural-functional organization of landscape-recreational complex in the cities of Belarus], Minsk, 2011, 171 p. (in Russian)
12. Sen2Cor. 2019. Available at: <https://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/sen2cor/> (accessed 21 March 2019).
13. Copernicus Open Access Hub. 2018. Available at: <https://scihub.copernicus.eu/> (accessed 22 February 2018).
14. Tucker C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.*, 1979, vol. 8, iss. 2, pp. 127–150. doi: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
15. Sentinel-2 Toolbox. 2019. Available at: <http://step.esa.int/main/toolboxes/sentinel-2-toolbox> (accessed 21 February 2019).

Информация об авторах

Кравчук Людмила Александровна – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: kravchu-k@ya.by

Яновский Александр Александрович – кандидат технических наук, научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: yanouski@ya.ru

Баженова Наталья Михайловна – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: nata.bazh@mail.ru

Санец Елена Васильевна – кандидат географических наук, заведующий лабораторией оптимизации геосистем, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: elena-sanets@ya.by

Information about the authors

Lyudmila A. Kravchuk – Ph. D. (Geography), Leader Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: kravchu-k@ya.by

Aleksander A. Yanovskiy – Ph. D. (Technical), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: yanouski@ya.ru

Natalia M. Bazhenova – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: nata.bazh@mail.ru

Elena V. Sanets – Ph. D. (Geography), Head of the Geosystems Optimization Laboratory, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: elena-sanets@yandex.by

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ СРЕДНЕГО ГОРОДА (НА ПРИМЕРЕ г. КОБРИНА, БЕЛАРУСЬ)

Е. Н. Басалай¹, В. С. Хомич², М. М. Дашкевич¹

¹*Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларусь, Брест, Беларусь;*

²*Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь*

Аннотация. В статье рассматриваются результаты эколого-геохимических исследований состояния почвенного покрова в зоне воздействия очистных сооружений (ОС) среднего города (на примере г. Кобрин, Беларусь). В основу исследований положены методические подходы геохимии ландшафтов: геохимическая съемка и дифференциация территории на ближнюю зону воздействия очистных сооружений (до 30 м) и удаленную (до 300 м), сравнение полученных данных с местным геохимическим фоном. Исследовались агрохимические свойства и загрязнение почв подвижными формами тяжелых металлов (ТМ).

Сопоставление агрохимических показателей почв ближней и удаленной зон воздействий ОС г. Кобриня с фоновыми показателями свидетельствует об имеющем место интенсивном обогащении почв на площадке ОС и прилегающей территории (до 30 м) азотом нитратным и подвижными формами фосфора (в 5,4 и 2,9 раза соответственно), в меньшей степени азотом аммонийным (в 2,5 раза). С удалением от очистных сооружений на расстоянии 30–300 м степень обогащения почв азотом и фосфором в 1,7 раза меньше, чем в ближней зоне. Основным источником поступления элементов питания в почвы в зоне воздействия ОС являются осадки городских сточных вод, содержание в которых биогенных веществ на несколько порядков выше, чем в почвах фоновых территорий.

Для территории ОС г. Кобриня и ближней зоны их воздействия (до 30 м) установлена следующая ассоциация подвижных форм ТМ относительно местного фона: Cr (4,2) > Ni (3,3) > Mn = Cu (2,2) > Zn (2,0) > Fe (1,6) > Pb (1,1). Для удаленной зоны воздействия ОС (30–300 м) аналогичная ассоциация выглядит следующим образом: Cr (3,4) > Ni (2,8) > Cu (2,0) > Mn (1,9) > Zn (1,8) > Fe (1,4) > Pb (1,0). В пределах санитарно-защитной зоны очистных сооружений и на фоновом участке превышен санитарно-гигиенический норматив по содержанию подвижного цинка.

Ключевые слова: очистные сооружения; осадки городских сточных вод; агрохимические показатели; тяжелые металлы; загрязнение почв; зоны воздействия.

Для цитирования. Басалай Е. Н., Хомич В. С., Дашкевич М. М. Эколого-геохимическая оценка почв в зоне влияния очистных сооружений среднего города (на примере г. Кобрин, Беларусь). – Природопользование. – 2020. – № 1. – С. 86–97.

ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL ASSESSMENT OF SOILS IN THE ZONE OF INFLUENCE OF WASTEWATER TREATMENT PLANTS OF THE MIDDLE CITY (ON THE EXAMPLE OF KOBIN CITY, BELARUS)

E. N. Basalai¹, V. S. Khomich², M. M. Dashkevich¹

¹*The Polesie Agrarian Ecological Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Brest, Belarus;*

²*Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

Abstract. The article considers the results of ecological and geochemical studies of the state of soil cover in the zone of impact of wastewater treatment plants of the middle city (on the example of Kobrin, Belarus). The research is based on methodological approaches to landscape geochemistry: geochemical survey and differentiation of the territory into the near zone of impacts of wastewater treatment plants (up to 30 m) and remote (up to 300 m), comparison of the data obtained with the local geochemical background. The agrochemical properties of soils and their contamination with mobile forms of heavy metals were studied.

Comparison of the revealed associations of biogenic substances in soils of the near and remote zones of impacts of treatment facilities of Kobrin with background indicators indicate that there is an intensive enrichment of soils on the site of wastewater treatment plants and the adjacent territory (up to 30 m) with nitrogen nitrate and mobile forms of phosphorus (5,4 and 2,9 times, respectively), to a lesser extent with nitrogen ammonium (2,5 times). With the distance from wastewater treatment plants at a distance of 30–300 m, the degree of soil enrichment with nitrogen and phosphorus is 1,7 times less than in the near zone. The main source of nutrients entering the soil in the zone of impact of wastewater

treatment plants is urban wastewater precipitation, the content of nutrients in which is several orders of magnitude higher than in the soils of the background territories.

For sewage treatment plants of Kobrin and near-zone effects (up to 30 m) installed the following association of heavy metals mobile forms relative to the local background: Cr (4,2) > Ni (3,3) > Mn = Cu (2,2) > Zn (2,0) > Fe (1,6) > Pb (1,1). At the same time, the value of the total pollution index (Z_c) was 10,5 – a middle degree of pollution. For a remote treatment plant impact zone (30–300 m), the same association looks like this: Cr (3,4) > Ni (2,8) > Cu (2,0) > Mn (1,9) > Zn (1,8) > Fe (1,4) > Pb (1,0). The value of the total pollution index (Z_c) was 7,9 – a middle degree of pollution. Within the sanitary protection zone of treatment facilities and in the background area no excess of the maximum permissible concentrations/approximate permissible concentrations of mobile forms of heavy metals was detected with the exception of mobile zinc.

Keywords: urban wastewater treatment plants; urban wastewater sludge; agrochemical indicators; heavy metals; soil pollution; impact zones.

For citation. Basalai E. N., Khomich V. S., Dashkevich M. M. Ecological and geochemical assessment of soils in the zone of influence of wastewater treatment plants of the middle city (on the example of Kobrin city, Belarus). *Nature Management*, 2020, no. 1, pp. 86–97.

Введение. Очистные сооружения (ОС) городов являются одним из широко распространенных источников загрязнения природной среды и ее компонентов: поверхностных вод – вследствие сброса недостаточно очищенных сточных вод и смывов с наиболее загрязненных участков; подземных вод – в результате инфильтрации загрязняющих веществ в водоносные горизонты на разных стадиях очистки сточных вод; почв – при целенаправленном внесении осадка сточных вод или его непреднамеренном распространении передвижными механизмами; атмосферного воздуха – из-за разрушения органических веществ и выделения в воздух парниковых газов (метана, диоксида углерода), других загрязняющих веществ и неприятного гнилостного запаха [3, 10–12, 16, 17].

В процессе очистки сточных вод (СВ) на ОС образуется также осадок городских сточных вод (ОГСВ), который подвергается сушке в естественных условиях на картах иловых площадок, где зачастую в течение десятков лет является потенциальным источником негативного воздействия на компоненты окружающей среды. Количество образующихся ОГСВ ежегодно увеличивается как в Беларусь в целом, так и в Брестской области [2]. ОГСВ имеют свою специфику по спектру содержащихся в них химических веществ, что напрямую зависит от специализации городов и наличия в них различных предприятий, качества поступающих на очистку СВ и способов обработки СВ и ОГСВ. Поступая в окружающую среду, ОГСВ, с одной стороны, обогащают почву органическими веществами, а с другой – могут оказывать негативное воздействие на почвенный покров вследствие формирования педо-геохимических аномалий в зонах влияния ОС [10].

Цель работы – выявить влияние ОС среднего города на эколого-геохимические показатели почвенного покрова.

В качестве объекта исследований выбраны ОС г. Кобрин – среднего города Брестской области с населением 53,4 тыс. чел. (2019 г.), находящиеся на балансе КУПП «Кобринрайводоканал». ОС функционируют с 1980 г.

ОС г. Кобрина расположены в пределах Южной (Полесской) почвенно-геохимической провинции, с юга и востока к территории ОС примыкают сельскохозяйственные угодья, используемые под пашню, с запада – участки соснового леса. Для района характерны дерновые и дерново-подзолистые глеевые почвы на водно-ледниковых суглинках, песках и супесях. Среднее содержание гумуса в почве составляет более 2,5 %. В почвах отмечается пониженное содержание фосфора и повышенное (более 3 мг/кг) – меди. Средневзвешенное содержание калия, магния, бора и цинка соответствует средним для Беларусь показателям.

Территория юго-запада Беларусь отличается развитой транспортной инфраструктурой, интенсивными формами ведения сельскохозяйственного производства, высоким промышленным потенциалом; кроме того, находится под влиянием трансграничного переноса загрязняющих веществ с индустриально развитых регионов Европы. Иловые площадки ОС с накопленным ОГСВ являются основным местным техногенным источником воздействия на природную среду. Совокупность перечисленных выше факторов обуславливает актуальные и потенциальные риски загрязнения почв различными веществами-загрязнителями.

Методика и объекты исследований. Изучение ОС как источника воздействия на окружающую среду в работе базируется на теории геохимии ландшафта, изучающей миграцию и концентрацию химических элементов и их соединений в ландшафтных компонентах: атмосферном воздухе, поверхностных и подземных водах, почвах и растительности [8, 26]. Использованные методические приемы разработаны с учетом опыта эколого-геохимических исследований урбанизированных территорий [6, 29] и почвенно-геохимических исследований сельскохозяйственных земель [9]. Основное внимание в работе уделено исследованию почвы как депонирующей среды, состав и свойства которой от-

ражают процессы загрязнения за период функционирования объекта и происходящую под его влиянием трансформацию окружающей среды.

Основным методом исследований являлась ландшафтно-геохимическая съемка. Определение содержания химических веществ в антропогенных субстратах и природных компонентах проводили различными химико-аналитическими методами. Для обработки информации применяли статистические методы.

СВ на ОС г. Кобрин проходят стадии механической (приемная камера, решетка, песколовки и первичные отстойники) и биологической очистки (аэротенки, вторичные отстойники) с доочисткой в биопрудах, и отводятся в р. Мухавец. Смесь сырого осадка и избыточного активного ила обрабатывается в осветлителях-перегнивателях, обезвоживается на семи иловых площадках и периодически вывозится на полигон твердых коммунальных отходов [2]. Технические устройства каскада ОС располагаются на толще техногенных грунтов мощностью до 2 м с общим уклоном по направлению к руслу р. Мухавец.

Для геохимической оценки состояния почв отбор проб производился на территории ОС и ближней зоне их воздействия (БЗВ, до 30 м) и санитарно-защитной зоне ОС (СЗЗ, 300 м). Оценку степени загрязнения почв проводили путем сравнения с «нормой» – уровнем содержания элементов в почвах фоновых территорий. В качестве фоновой территории (местного фона) для оценки состояния почвенного покрова в зоне воздействия ОС использовали подход, описанный в ТКП 17.03.01-2013 [28]. Три фоновых участка, заложенных в соответствии с ТКП 17.03.01-2013 [28], расположены в сходных ландшафтно-геохимических условиях на расстоянии 500 м от границы ОС; на каждом фоновом участке заложена пробная площадка в форме квадрата с отбором девяти точечных проб и формированием объединенных проб в соответствии с ТКП 17.03.01-2013 [28]. Образцы дерново-подзолистой супесчаной почвы в районе размещения ОС и почвы из лесного массива (местный фон, 500 м) отбирали в один день с глубины 0–20 см, сушили до воздушно-сухого состояния и измельчали до частиц размером менее 1 мм в зависимости от метода анализа. В течение 2016–2019 гг. было отобрано и проанализировано 187 почвенных проб в зоне размещения ОС г. Кобрина (рис. 1).

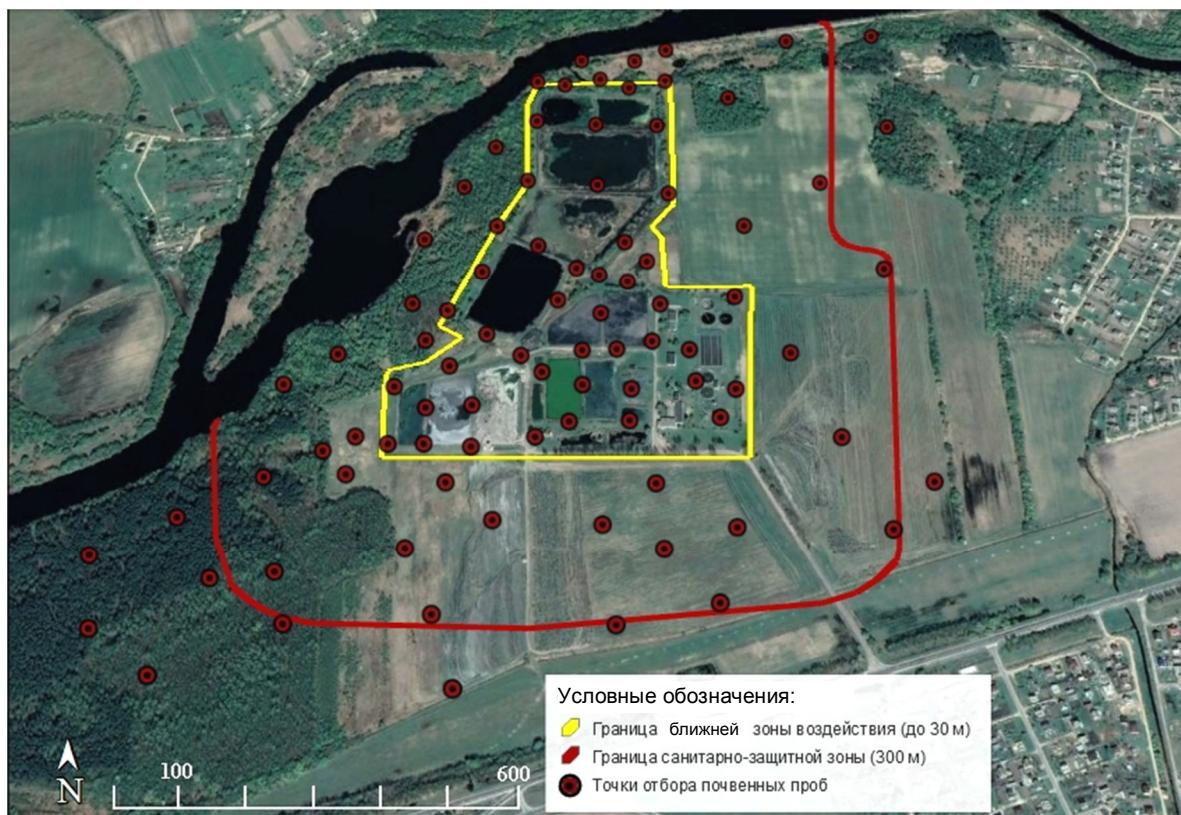


Рис. 1. Схема отбора почвенных проб в зоне размещения ОС г. Кобрина

Fig. 1. Scheme of soil sampling in the area of wastewater treatment plants location of Kobrin

Изучение почвенных проб выполняли по комплексу агрохимических показателей по стандартным методикам в условиях аккредитованной лаборатории: pH_{KCl} (ГОСТ 26583-85), гигроскопическая влажность (ГОСТ 5180-2015), содержание органического вещества (ГОСТ 26213-91, п. 2), подвижного фосфора и калия (ГОСТ 26207-91), азота общего (ГОСТ 26213-91, п. 4.2), гумуса (ГОСТ 26213-91, п. 1), нитрат-иона (ГОСТ 26488-85), аммоний-иона (ГОСТ 26489-85).

Важное значение при почвенно-геохимическом исследовании имеют подвижные формы тяжелых металлов (ТМ), которые являются доступными для растений [20], аккумулируются в приповерхностном слое почвы, обладают высокой биохимической активностью, способны накапливаться в растительном материале и обуславливают опасность передачи накапленных ТМ к животным и человеку по пищевым цепям [19]. Поэтому отобранные пробы почвы также анализировали на содержание подвижных форм ТМ: свинца, кадмия, цинка, меди, никеля, кобальта, хрома, железа и марганца, – часть которых (меди, цинка, марганец и кобальт) входит в группу почвенных микроэлементов и играет важную роль в жизни растений. Изучение содержания в почвах подвижных форм ТМ проводили при помощи ацетатно-аммонийного буферного раствора с $\text{pH} = 4,8$ [18].

Полученные для исследуемой и фоновой территорий агрохимические показатели сравнивали со средними значениями для пахотного слоя почв Брестской области по результатам 13-го тура агрохимического обследования почв (2013–2016 гг.) [1]. Эколого-геохимическую оценку уровня загрязнения почвенного покрова проводили также по отношению к региональному фоновому их содержанию на территории Брестской области [20]. Для оценки степени опасности загрязнения почв использовали санитарно-гигиенические нормативы содержания подвижных форм ТМ в почвах [7, 22, 23].

Для эколого-геохимической оценки состояния почв использовали данные о фактическом содержании химического вещества, значение коэффициента концентрации (K_c), который представляет собой отношение содержания элемента/вещества в исследуемых почвах к его фоновому содержанию, и суммарного показателя загрязнения почв (Z_c), который рассчитывали по формуле (1) согласно Ю. Е. Саюту с соавторами [6]:

$$Z_c = \sum K_c - (n - 1), \quad (1)$$

где K_c – коэффициент концентрации i -го элемента/вещества; n – число учитываемых химических элементов/веществ, K_c которых $\geq 1,5$.

Результаты и их обсуждение. Воздействие ОС на почвенный покров проявляется в обогащении ее веществами, которые присутствуют в составе СВ и в ОГСВ при их попадании на почву.

Одной из важнейших характеристик почвы является ее кислотность. Оптимальные значения показателя кислотности для пахотных почв Беларуси составляют 6,0–6,2 ед. pH [14]. В соответствии с работой [14], по степени кислотности (pH_{KCl}) пробы почвы, отобранные в БЗВ, являются близкими к нейтральным, в С33 – слабокислыми (табл. 1). По сравнению с местным фоном почвы БЗВ и С33 являются более щелочными; по мере удаления от ОС в сторону лесного массива (БЗВ → С33 → лес) почвы становятся более кислыми: кислотность почв возрастает с 6,5 (близкие к нейтральным почвы) до 5,3 ед. pH (кислые почвы), что связано с расположением фоновых участков в сосновом лесу и подкислением почв хвойным опадом. Необходимо отметить, что выявленная для местного фона кислотность 5,3 ед. pH , соответствующая кислой реакции среды, не характерна для естественных сосновых лесов. Так, в соответствии с работами [5, 21], для почв сосновых лесов характерна $\text{pH} = 2,8$ –3,3. Подщелачивание почв в С33 и лесном массиве может быть связано с непреднамеренным попаданием ОГСВ (7,0 ед. pH) с карт иловых площадок в почву, а также известкованием близлежащих сельскохозяйственных земель и последующей миграцией кальция за счет поверхностного и внутрипочвенного стока в лесной массив и его дальнейшее закрепление в почве [10].

Важнейшим критерием плодородия почвы является содержание гумуса – органического вещества почвы, необходимого для питания и жизнедеятельности растений. В соответствии с агрохимической градацией почв [14], в БЗВ преобладают почвы со средним содержанием гумуса; почвы С33 и фоновых участков характеризуются недостаточным его содержанием. По мере удаления от ОС в сторону лесного массива (БЗВ → С33 → лес) содержание гумуса в почве снижается с 2,30 до 1,53 %. Среднее содержание гумуса в пределах БЗВ и С33 превышает местный фон в 1,5 и 1,2 раза соответственно (см. табл. 1). Почвы БЗВ по содержанию гумуса соответствуют субрегиональному фону. Содержание гумуса в почвах С33 и фоновых участков ниже субрегионального фона в 1,1 и 1,3 раза соответственно.

Почвенный азот находится в основном в составе органического вещества – гумуса. В теплое время года часть его разлагается микроорганизмами и азот высвобождается в доступной для растений форме. Поэтому содержание азота в почве зависит от количества органического вещества и, прежде всего, гумуса: чем больше гумуса содержат почвы, тем больше в них азота [4]. По мере удаления от ОС в сторону лесного массива (БЗВ → С33 → лес) содержание общего азота в почвенном покрове снижается примерно на треть (см. табл. 1). Среднее содержание общего азота в пределах БЗВ и С33 было выше местного фона в 1,4 и 1,3 раза соответственно.

Таблица 1. Агрохимические характеристики отобранных проб почв и ОГСВ в зоне воздействия ОС г. Кобриня, 2016–2019 гг.**Table 1. Agrochemical characteristics of selected soil samples and urban wastewater sludge in the zone of impact of wastewater treatment plants of Kobrin during 2016–2019**

Субстрат	Показатель	Кислотность, ед. pH	Органическое вещество, %	Гумус, %	Азот			Подвижные соединения мг/кг		
					общий, %	нитратов, мг/кг	аммония, мг/кг	фосфора	калия	
Почвы	Промплощадка ОС и ближняя зона воздействия (до 30 м)	min–max	5,1–7,4	1,96–4,56	1,51–2,57	0,078–0,287	1,3–87,7	5,8–77,4	257,6–714,2	45,4–256,1
		среднее	6,5	2,78	2,3	0,183	29,2	24,7	539,0	127,6
	C33 (30–300 м)	min–max	4,2–7,6	0,23–3,76	0,15–3,87	0,024–0,393	0,45–56,3	3,9–47,8	87,6–525,4	12,6–187,2
		среднее	5,9	2,65	1,86	0,165	16,8	15,9	316,5	110,3
	Местный фон		5,3	2,36	1,53	0,129	5,4	9,7	187,8	98
	Субрегиональный фон [15]		5,75	—	2,48	—	—	—	178	197
ОГСВ	min–max	6,8–7,5	77,5–94,3	—	—	3,41–4,67 ¹	—	—	3,7–5,6 ²	0,22–0,40 ³
	среднее	7,0	90,5	—	—	3,97 ¹	—	—	4,65 ²	0,29 ³

¹ – азот общий, %; ² – фосфор общий, %; ³ – калий общий, %.

Таблица 2. Содержание подвижных форм ТМ в почве и ОГСВ в зоне воздействия ОС г. Кобриня (2016–2019 гг.), мг/кг сух. в-ва**Table 2. The content of mobile forms of heavy metals in the soil and in the sediment of urban wastewater sludge in the zone of impact of wastewater treatment plants of Kobrin (2016–2019), mg/kg on dry matter**

Субстрат	Показатель	Свинец	Медь	Цинк	Никель	Марганец	Железо	Хром	Кадмий	Кобальт
Почвы	Промплощадка ОС и ближняя зона воздействия (до 30 м)	min–max	0,17–1,23	0,08–1,55	4,04–35,6	0,32–3,51	12,0–51,7	18,4–133,2	0,3–3,5	нпо
		среднее	0,68	0,56	18,18	0,96	22,35	41,2	0,75	нпо
	C33 (30–300 м)	min–max	0,11–1,18	0,05–1,23	3,2–31,3	0,27–2,12	9,8–35,2	15,2–127,8	0,21–3,1	нпо
		среднее	0,63	0,49	16,6	0,81	18,91	35,0	0,62	нпо
	Местный фон		0,61	0,25	9,3	0,29	10,2	25,3	0,18	нпо
	Субрегиональный природный фон [19, 20]		4,56	0,93	3,07	—	39,00	—	0,77	0,02
ОГСВ	Субрегиональный фон, пахотные земли [19, 20]		3,31	0,59	2,35	0,22	—	346,00	0,56	0,07
	Региональный фон [27]		1,2	0,3	5,4	0,3	51,9	—	—	0,10
	ПДК/ОДК [7]		10	5	10	4	600	—	6	0,2
	min–max	4,46–36,36	38,42–272,27	323,81–2232,99	3,77–16,75	166,9–971,9	4069,00–16 170,17	233,42–1625,45	0,28–2,06	нпо–3,54
	среднее	22,2	181,3	1645,1	11,3	531,0	11156,8	819,3	1,2	2,6
	ПДК для осадков 1-й группы	250	750	1750	200	н/н	н/н	500	15	н/н
	ПДК для осадков 2-й группы	500	1500	3500	400	н/н	н/н	1000	30	н/н

П р и м е ч а н и е. нпо – ниже предела обнаружения; н/н – не нормируется.

Основными азотсодержащими соединениями, из которых растения усваивают азот, являются минеральные его формы – окисленная (нитрат-ион) и восстановленная (аммоний-ион). Органические азотсодержащие вещества в процессе аммонификации разлагаются до аммиака в результате жизнедеятельности аэробных и анаэробных гетеротрофных бактерий, микроорганизмов, актиномицетов и плесневых грибов. При этом в кислой среде данный процесс существенно замедляется. Среднее содержание аммонийного азота в почвах БЗВ и С33 выше местного фона в 2,5 и 1,6 раза соответственно (см. табл. 1). По мере удаления от ОС в сторону лесного массива (БЗВ → С33 → лес) содержание азота аммония в почвенном покрове снижается на 60,7 %.

При участии бактерий родов *Nitrosomonas*, *Nitrosocysti*, *Nitrosospira* и *Nitrobacter* происходит процесс нитрификации – окисление солей аммония до нитратов. Данный процесс протекает наиболее интенсивно по мере прогревания почвы, особенно в летнее время. Так как пробы почвы отбирались в теплое время года (апрель–октябрь), то в большинстве проб выявлено высокое содержание азота нитратов. Усвоение растениями аммонийного и нитратного азота зависит от множества факторов: в условиях нейтральной реакции среды аммонийный азот усваивается растениями лучше, а при кислой – хуже, чем нитратный. Среднее содержание азота нитратов в почвах БЗВ в теплое время года составило 29,2 мг/кг, в почвах С33 – 16,8 мг/кг, что в 5,4 и 3,1 раза соответственно превышает местное фоновое значение, однако не достигает величины ПДК. При этом на отдельных участках БЗВ в центральной части очистных сооружений (между биопрудами и иловыми площадками) и около иловых площадок выявлены превышения величины ПДК в 1,1–3,0 раза. По мере удаления от ОС в сторону лесного массива (БЗВ → С33 → лес) содержание азота нитратов в почвенном покрове снижается на 81,5 %.

Показателем, характеризующим плодородие почв, и важным элементом питания растений является фосфор. Органическое вещество почвы служит резервом подвижного фосфора. Фосфор органических соединений из ОГСВ переходит в доступную форму после их минерализации микрофлорой почвы. В отличие от азота, фосфор довольно устойчив в почве и не теряется в результате вымывания и улетучивания, как азот. При минерализации ОГСВ наблюдается увеличение доли минеральных фосфатов, поэтому считается, что весь фосфор, который содержится в осадках, доступен растениям и поглощается из почвы. Разброс минимальных и максимальных значений содержания фосфора в почвах на исследуемой территории (БЗВ и С33) составил 8,2 раза (см. табл. 1). Максимальные значения характерны для БЗВ – среднее содержание подвижного фосфора составило 539,0 мг/кг и являлось очень высоким; для почв С33 характерно высокое содержание фосфора. В почвах БЗВ и С33 содержание подвижного фосфора является более высоким по сравнению с местным (в 2,9 и 1,7 раза соответственно) и субрегиональным фондом (в 3,0 и 1,8 раза). При этом по среднему содержанию подвижного фосфора почвы фоновых участков сходны со значениями субрегионального фона и относятся к почвам с повышенным содержанием фосфора, что может быть связано с внесением удобрений на сельскохозяйственных землях и последующей миграцией фосфатов в лесной массив с поверхностным и внутриводным стоком. Изменение содержания подвижного фосфора в почвах с удалением от ОС представлено на рис. 2, а.

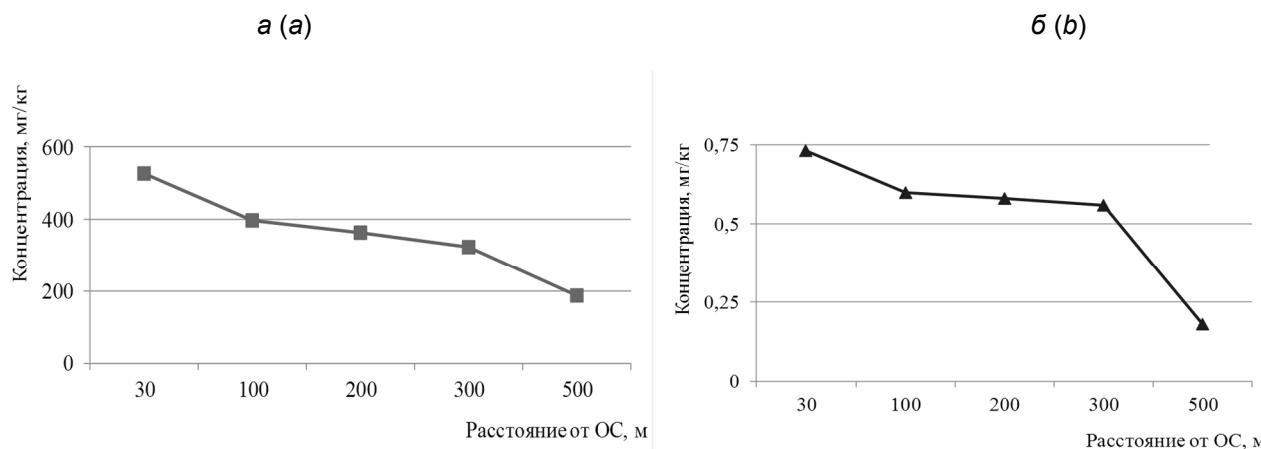
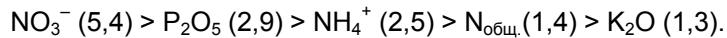


Рис. 2. Изменение содержания подвижного фосфора (а) и подвижного хрома (б) в почвах с удалением от ОС г. Кобрина

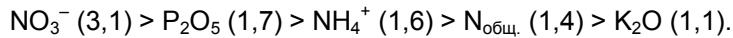
Fig. 2. The dynamics of content of mobile compounds of phosphorus (a) and mobile chromium (b) in soils depending on the distance from the territory of wastewater treatment plants of Kobrin

Калий является важным для питания растений элементом и, в основном, содержится в почвах в формах, не доступных для растений [4]. Содержание доступного для растений подвижного калия в почве выражается суммой водорастворимого и обменного калия. Обеспеченность почв в зоне воздействия ОС (БЗВ и С33) подвижным калием изменяется в широких пределах – от очень низкого (12,6 мг/кг) до повышенного (256,1 мг/кг), однако для большинства почвенных проб, в соответствии с работой [4], характерно низкое его содержание. При этом в пределах БЗВ почвы характеризуются низкой обеспеченностью подвижным калием, в С33 и на фоновых участках – очень низким. По сравнению с субрегиональным фоном почвы БЗВ, С33 и фоновых территорий являются менее обеспеченными подвижным калием – в 1,5, 1,8 и 2,0 раза соответственно.

Для территории ОС и ближней зоны воздействия (до 30 м) установлена ассоциация биогенных элементов с повышенным содержанием относительно местного фона следующего вида:

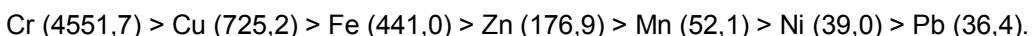


Для удаленной зоны воздействия (С33, 30–300 м) аналогичная ассоциация биогенных элементов относительно местного фона имеет следующий вид:



Сопоставление выявленных ассоциаций биогенных веществ в почвах ближней и удаленной зон воздействий ОС г. Кобринा с фоновыми показателями свидетельствуют об имеющем место интенсивном обогащении почв на площадке ОС и прилегающей территории (до 30 м) азотом нитратным и подвижными соединениями фосфора (в 5,4 и 2,9 раза соответственно), в меньшей степени азотом аммонийным (в 2,5 раза). С удалением от очистных сооружений на расстоянии 30–300 м степень обогащения почв азотом нитратным и подвижным фосфором в 1,7 раза меньше, чем в ближней зоне. Основным источником поступления биогенных веществ в почвы в зоне воздействия ОС являются ОГСВ, содержание в которых биогенных веществ, как видно из табл. 1, на несколько порядков выше, чем в почвах фоновых территорий.

ТМ как приоритетные загрязнители почвы рассматриваются в многочисленных научных работах как отечественных, так и зарубежных авторов [6, 9, 19, 25, 26, 29 и др.]. Исследуемые территории ОС Брестской области расположены в юго-западной части республики, характеризующейся широким спектром промышленных предприятий, развитой транспортной инфраструктурой и развитым сельским хозяйством. Изучаемая территория испытывает также значительное влияние трансграничного переноса загрязняющих веществ с индустриально развитых регионов Европы [13]. Кроме этого, потенциальным источником загрязнения почвенного покрова на исследуемой территории является ОГСВ (см. табл. 1 и 2), который содержит вещества-загрязнители, в том числе ТМ, в концентрированном виде. Так, для ОГСВ г. Кобринা приоритетным загрязнителем является хром. Ассоциация ТМ в ОГСВ по сравнению с местным почвенным фоном имеет следующий вид:



Перечисленные выше факторы обуславливают риски загрязнения почв, расположенных в непосредственной близости от иловых площадок очистных сооружений, ТМ и прежде всего хромом и медью.

В настоящее время требования к ОГСВ для внесения в почву в Беларусь законодательно не установлены. В России использование ОГСВ в сельском хозяйстве регламентирует ГОСТ Р 14.7.3.07, в котором зафиксированы нормативы для свинца, кадмия, меди, цинка, никеля и хрома (см. табл. 2). На основании содержания данных элементов ОГСВ подразделяются на две группы: осадки 1-й группы используют под все виды сельскохозяйственных культур, кроме овощных, грибов, зеленных и земляники (для них требования более жесткие); осадки 2-й группы – под зерновые, зернобобовые, зернофуражные и технические культуры. ОГСВ обеих групп можно использовать в промышленном цветоводстве, зеленом строительстве, лесных и декоративных питомниках, для биологической рекультивации нарушенных земель и полигонов твердых коммунальных отходов.

Содержание свинца, кадмия, меди и никеля в ОГСВ г. Кобрине ниже установленных нормативов для осадков 1-й группы. Содержание цинка в некоторых пробах ОГСВ выше нормы для осадков 1-й группы (до 1,3 раза; в среднем 0,9 ПДК), но соответствует ПДК для осадков 2-й группы. Содержание хрома в ОГСВ г. Кобрине выше ПДК для осадков 1-й группы (в среднем 1,6 ПДК) и в некоторых образцах выше ПДК для осадков 2-й группы.

Хром является одним из важнейших биогенных элементов, который входит в состав тканей растений и животных. В пробах почвы, отобранных в течение 2016–2019 гг. в пределах БЗВ, зафиксированы более высокие концентрации подвижного хрома по сравнению с фоновой территорией – в 4,2 раза (при этом на отдельных участках территории ОС отмечены превышения фоновых значений от 1,7 до 19,2 раза). В пределах С33 концентрация подвижного хрома выше фоновой в 3,4 раза. Со-

держание подвижного хрома в БЗВ сходно со значением субрегионального природного фона [19, 20], в пределах С33 – со значением субрегионального фона для пахотных земель. Снижение содержания подвижного хрома в почвах с удалением от ОС представлено на рис. 2, б. Превышений ПДК по содержанию подвижных форм хрома в почвах в зоне воздействия ОС г. Кобриня не выявлено.

Цинк играет важную роль в жизни растений и животных, являясь активатором различных ферментов. Среднее содержание подвижного цинка в пробах почвы, отобранных в БЗВ, составляет 18,2 мг/кг, в С33 – 16,6 мг/кг, что превышает фоновые значения в 2,0 и 1,8 раза соответственно (см. табл. 2). При этом среднее содержание подвижного цинка в почвах БЗВ, С33 и фоновых участков превышает значения субрегионального природного фона в 5,9, 5,4 и 3,0 раза соответственно и регионального фона в 3,4–1,7 раза. Средние концентрации подвижного цинка в почвах БЗВ и С33 превышают санитарно-гигиенический норматив в 1,8 и 1,7 раза соответственно, при этом максимальные концентрации подвижного цинка превышают ПДК в 3,6 раза.

Свинец является приоритетным элементом-токсикантом, относящимся к 1-му классу опасности [26]. По сравнению с другими ТМ свинец наименее подвижен, причем степень подвижности этого элемента сильно снижается при известковании почв. Среднее содержание подвижного свинца в пробах почвы БЗВ, С33 и фоновых участков различаются незначительно (0,61–0,68 мг/кг; см. табл. 2). При этом содержание подвижного свинца в почвах в зоне воздействия ОС г. Кобриня в 6,7–7,5 раза ниже субрегионального фона и в 1,8–2,0 раза ниже регионального. Концентрации подвижного свинца на исследуемой территории значительно ниже санитарно-гигиенического норматива.

Медь является необходимым микроэлементом для высших растений и животных. В почвенных пробах, отобранных в пределах БЗВ и С33, среднее содержание подвижной меди превышает фоновые значения в 2,2 и 2,0 раза соответственно. При этом концентрации подвижной меди в пределах БЗВ и С33 близки субрегиональному фону для пахотных земель и выше регионального фона в 1,9 и 1,6 раза соответственно. Концентрации подвижной меди в почвах исследуемой территории в 3,0 раза и более ниже санитарно-гигиенического норматива.

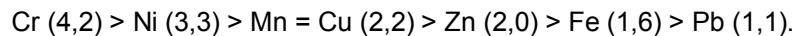
Никель принимает участие в ферментативных реакциях у животных и растений. В отобранных в БЗВ и С33 ОС г. Кобриня пробах почвы среднее содержание подвижного никеля превышает местный фон в 3,3 и 2,8 раза соответственно (см. табл. 2) и является более высоким по сравнению с субрегиональным фондом для пахотных земель (в 4,4 и 3,7 раза соответственно,) и региональным фондом (в 3,2 и 2,7 раза соответственно). При этом содержание подвижного никеля на фоновой территории сходно с региональным фондом. Концентрации подвижного никеля в почвах на исследуемой территории ниже санитарно-гигиенического норматива, однако на отдельных пробных площадках близки к предельно допустимому уровню (до 0,9 ПДК).

Марганец оказывает значительное влияние на жизнедеятельность живых организмов. Среднее содержание подвижного марганца в почвах БЗВ и С33 превышает фоновое значение в 2,2 и 1,9 раза соответственно (см. табл. 2). При этом концентрации подвижного марганца в пределах БЗВ, С33 и фоновых участков значительно ниже по сравнению с субрегиональным природным (1,7, 2,0 и 3,8 раза соответственно) и региональным фондом (в 2,3, 2,7 и 5,1 раза соответственно). Концентрации подвижного марганца на исследуемой территории значительно ниже ПДК.

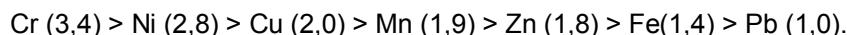
Железо в живых организмах является важным микроэлементом, катализирующим процессы дыхания. Среднее содержание подвижного железа в пробах почвы, отобранных в БЗВ и С33, превышает фоновые значения в 1,6 и 1,4 раза соответственно (см. табл. 2). При этом концентрации подвижного железа в пределах БЗВ, С33, фоновых участков являются низкими по сравнению с субрегиональным фондом для пахотных земель в 8,4–13,4 раза.

В почвах исследуемой территории не было обнаружено подвижных форм кадмия и кобальта.

На основании вышеизложенного для территории ОС г. Кобриня и ближней зоны их воздействия (до 30 м) установлена следующая ассоциация подвижных форм ТМ относительно местного фона:



Для удаленной зоны воздействия ОС г. Кобриня (С33, 30–300 м) аналогичная ассоциация выглядит следующим образом:



Значение суммарного показателя загрязнения почв (Z_c) подвижными формами ТМ для БЗВ составило 10,5, для удаленной – 7,9, что свидетельствует о допустимом уровне загрязнения почв в среднем для рассматриваемых зон воздействия. В то же время расчеты Z_c для отдельных пробных площадок свидетельствуют об имеющих место почвенно-геохимических аномалиях с опасным уровнем загрязнения почв в зоне воздействия ОС г. Кобриня (табл. 3).

Таблица 3. Ассоциации ТМ, накапливающихся в почвах в зоне воздействия ОС г. Кобринা**Table 3. Associations of heavy metals accumulating in soils in the impact zone of wastewater treatment plants of Kobrin**

Номер точки отбора	Место отбора	Z_c	Ассоциация	Уровень опасности загрязнения
Б3В				
1	В 27 м к северу от иловых площадок № 1 и № 2 (между иловыми площадками и биопрудом № 2)	47,7	$\text{Cr} (19,2) > \text{Ni} (12,1) > \text{Cu} (6,2) > \text{Fe} (5,3) > \text{Mn} (5,1) > \text{Zn} (3,8) > \text{Pb} (2,0)$	Опасный
2	В 23 м к югу от биопруды № 1	18,8	$\text{Ni} (5,7) > \text{Cr} (4,4) > \text{Cu} (3,6) > \text{Mn} (3,4) > \text{Zn} = \text{Fe} (3,1) > \text{Pb} (1,5)$	Умеренно опасный
3	Между биопрудами № 4 и № 5, в 2,7 м от каждого	19,0	$\text{Cr} (6,4) > \text{Ni} (6,1) > \text{Cu} (3,0) > \text{Zn} = \text{Mn} (2,7) > \text{Fe} (2,6) > \text{Pb} (1,6)$	Умеренно опасный
С3З				
1	В 76 м к северо-востоку от иловой площадки № 7	37,4	$\text{Cr} (17,3) > \text{Ni} (7,3) > \text{Fe} (5,1) > \text{Cu} (4,9) > \text{Mn} (3,5) > \text{Zn} (3,4) > \text{Pb} (1,9)$	Опасный
2	В 85 м к западу от биопруды № 3	15,0	$\text{Cr} (5,0) > \text{Ni} (3,3) > \text{Cu} (3,0) > \text{Fe} (2,9) > \text{Zn} (2,8) > \text{Mn} (2,6) > \text{Pb} (1,4)$	Допустимый
3	В 93 м к западу от биопруды № 2	14,1	$\text{Cr} (4,3) > \text{Ni} (4,0) > \text{Fe} (3,4) > \text{Cu} (2,7) > \text{Zn} (2,3) > \text{Mn} (2,2) > \text{Pb} (1,2)$	Допустимый

Выводы

1. Определен высокий загрязняющий потенциал ОГСВ на ОС г. Кобрина, отражающийся в геохимической ассоциации ТМ в осадках по отношению к фоновому содержанию в местных почвах: $\text{Cr} (4551,7) > \text{Cu} (725,2) > \text{Fe} (441,0) > \text{Zn} (176,9) > \text{Mn} (52,1) > \text{Ni} (39,0) > \text{Pb} (36,4)$.

2. Выявлено изменение агрохимических свойств почв в зоне воздействия ОС г. Кобрина, выразившееся в обогащении почв гумусом, азотом нитратным, подвижными соединениями фосфора, в меньшей степени азотом аммония, и повышении обеспеченности почв элементами питания. В ближней зоне воздействия (Б3В, включающей промплощадку и прилегающую территорию до 30 м от ОС) и удаленной зоне воздействия (С3З, на удалении 30–300 м) обогащение почв азотом нитратным по сравнению с местным фоном составило в среднем 5,4 и 3,1 раза соответственно, подвижными соединениями фосфора – 2,9 и 1,7 раза. Основным техногенным источником поступления биогенных веществ в почвы в зоне воздействия ОС являются ОГСВ, содержание в которых биогенных веществ на несколько порядков выше, чем в почвах.

3. Установлено значительное обогащение почв в зоне воздействия ОС подвижными формами хрома и никеля, в меньшей степени марганца, меди и цинка. На площадке ОС и Б3В (до 30 м) сформировалась ассоциация элементов-загрязнителей по отношению к местному фону в следующем виде: $\text{Cr} (4,2) > \text{Ni} (3,3) > \text{Mn} = \text{Cu} (2,2) > \text{Zn} (2,0) > \text{Fe} (1,6) > \text{Pb} (1,1)$. В С3З состав ассоциации аналогичен, однако степень накопления поллютантов ниже: $\text{Cr} (3,4) > \text{Ni} (2,8) > \text{Cu} (2,0) > \text{Mn} (1,9) > \text{Zn} (1,8) > \text{Fe} (1,4) > \text{Pb} (1,0)$.

4. Загрязнение почв в зоне воздействия ОС г. Кобрина достигает опасного уровня по содержанию подвижного цинка. Средние концентрации подвижного цинка в почвах Б3В и С3З превышают санитарно-гигиенический норматив в 1,8 и 1,7 раза соответственно, максимальные – в 3,6 раза. По другим веществам превышений санитарно-гигиенических нормативов не выявлено.

5. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости организации мониторинга за состоянием почв в зонах воздействия ОС, слежения за содержанием в них как подвижных форм ТМ, которые являются легкодоступными для растений, так и валовых форм, которые отражают общее содержание ТМ в почве.

Список использованных источников

1. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016 гг.) / И. М. Богдевич [и др.] ; под общ. ред. И. М. Богдевича. – Минск : Ин-т почвоведения и агрохимии, 2017. – 275 с.
2. Басалай, Е. Н. Особенности очистки сточных вод и обработки осадка на очистных сооружениях Брестской области / Е. Н. Басалай // XXI Респ. науч.-практ. конф. молодых ученых, Брест, 10 мая 2019 г. : сб. материалов : в 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. А. Е. Будько. – Брест : БрГУ, 2019. – Ч. 1. – С. 3–5.

3. Басалай, Е. Н. Оценка влияния городских очистных сооружений Брестской области на загрязнение поверхностных вод / Е. Н. Басалай // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 86–95.
4. Вильдфлущ, И. Р. Агрохимия : учебник / И. Р. Вильдфлущ [и др.] ; под ред. И. Р. Вильдфлуша. – Минск : ИВЦ Минфина, 2013. – 704 с.
5. Геохимическое изучение ландшафтов Березинского биосферного заповедника / под. ред. К. И. Лукашева. – Минск : Наука и техника, 1985. – 144 с.
6. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Саэт [и др.]. – М. : Недра, 1990. – 335 с.
7. Гигиенические нормативы 2.1.7.12-1-2004: Перечень ПДК и ОДК химических веществ в почве // Сборник нормативных документов по разделу коммунальной гигиены / Министерство здравоохранения Респ. Беларусь. – Минск, 2005. – С. 27–45.
8. Глазовская, М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР / М. А. Глазовская. – М., 1988. – 327 с.
9. Головатый, С. Е. Тяжелые металлы в агрокосистемах / С. Е. Головатый. – Минск : Ин-т почвоведения и агрохимии, 2002. – 240 с.
10. Головатый, С. Е. Экологово-геохимическая оценка земель в зоне воздействия птицеводческих комплексов / С. Е. Головатый, В. С. Барановский, С. В. Савченко // Экологический вестник : науч.-практ. журнал / Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета ; редкол.: С. А. Маскевич (глав. ред.) [и др.]. – Минск, 2017. – № 4 (34). – С. 90–95.
11. Дрегуло, А. М. Оценка негативного воздействия на окружающую среду полигонов складирования осадков биологических сооружений / А. М. Дрегуло, Н. Е. Панова // Экология и промышленность России. – 2012. – № 8. – С. 43–45.
12. Дрегуло, А. М. Иловые площадки как специфические объекты прошлого экологического ущерба (в частном бассейне Финского залива) / А. М. Дрегуло, В. В. Кулибаба, И. М. Гильдеева // Общество. Среда. Развитие. – 2016. – № 3. – С. 115–119.
13. Какарека, С. В. Трансграничное загрязнение атмосферного воздуха и его регулирование / С. В. Какарека. – Минск : Беларуская навука, 2009. – 320 с.
14. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь : метод. указания / под. ред. И. М. Богдевича. – Минск, 2012. – 46 с.
15. Лапа, В. В. Баланс азота, фосфора и калия и применение удобрений на почвах пахотных земель Беларуси / В. В. Лапа, Н. Н. Ивахненко // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. агр. навук. – 2017. – № 2. – С. 48–57.
16. Лихачева, А. В. Воздействие иловых площадок на окружающую среду / А. В. Лихачева, В. Н. Марцуль, Л. Магрел, Л. Денис // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2001. – № 1. – С. 104–108.
17. Лихачева, А. В. Оценка воздействия иловых площадок на окружающую среду в системе обращения с избыточным активным илом / А. В. Лихачева, В. Н. Марцуль // Новые технологии рециклинга вторичных ресурсов : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 24–26 октября 2001 г. – Минск : БГТУ, 2001. – С. 159–164.
18. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М. : ЦИНАО. – Утв. 10.03.92. – 74 с.
19. Михальчук, Н. В. Тяжелые металлы и микроэлементы в почвах юго-запада Беларуси / Н. В. Михальчук, М. М. Дацкевич, С. Н. Михальчук, И. В. Ковалев, О. А. Галуц, Д. А. Трофимчук // 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 : БГГУ, 2019. – Ч. 1. – С. 16–24.
20. Михальчук, Н. В. Фоновое содержание тяжелых металлов и микроэлементов в почвах и растительности юго-запада Беларуси как основа для сравнительных оценок при производстве органической продукции на основе принципов зеленой экономики / Н. В. Михальчук, А. Н. Мялик // Экологово-географические проблемы перехода к зеленой экономике ; редкол. : В. С. Хомич (глав. ред.), В. Ф. Логинов, Е. В. Санец. – Минск : СтройМедиаПроект, 2019. – С. 266–281.
21. Натаров, В. М. Комплексный геохимический фоновый мониторинг в Березинском биосферном заповеднике / В. М. Натаров, О. В. Лукашев, В. В. Савченко. – Минск : Белорусский Дом печати, 2013. – 213 с.
22. Нормативы предельно-допустимых концентраций подвижных форм никеля, меди и валового содержания свинца в землях (включая почвы), расположенных в границах населенных пунктов, для различных видов территориальных зон по преимущественному функциональному использованию территорий населенных пунктов. – Утв. Постановлением министерства здравоохранения Респ. Беларусь 19.11.2009. – № 125.
23. Нормативы предельно-допустимых концентраций подвижных форм цинка, хрома, кadmия в почвах (землях), различных функциональных зон населенных пунктов, промышленности, транспорта, связи, энергетики, обороны и иного назначения. – Утв. Постановлением Министерства здравоохранения Респ. Беларусь 06.11.2008. – № 18.
24. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения : ГОСТ 17.4.1.02-83. – Введ. 01.01.85. – М. : Стандартинформ, 2008. – 4 с.
25. Пахненко, Е. П. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения : учебное пособие / Е. П. Пахненко. – М. : БИНОМ, Лаборатория знаний, 2017. – 311 с.
26. Перельман, А. И. Геохимия ландшафта / А. И. Перельман, Н. С. Касимов. – М., 1999. – 610 с.

27. Состояние природной среды Беларуси : экол. бюл. 2010 г. / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 2011. – С. 355–367.
28. ТКП 17.03.01–2013 Охрана окружающей среды и природопользование. Земли. Правила и порядок определения фонового содержания химических веществ в землях (включая почвы). – Минск: РУП «БелНИЦ «Экология».
29. Хомич, В. С. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси / В. С. Хомич, С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик. – Минск : Минстиппроект, 2004. – 260 с.

References

1. Bogdevich I. M. et al. *Agrohimicheskaya harakteristika pochv sel'skohozyajstvennyh zemel' Respubliki Belarus'* (2013–2016 gg.) [Agrochemical characteristics of soils of agricultural lands of the Republic of Belarus (2013–2016)]. Minsk, 2017, 275 p. (in Russian)
2. Basalaj E. N. *Osobennosti ochistki stochnyh vod i obrabotki osadka na ochistnyh sooruzheniyah Brestskoj oblasti* [Features of wastewater treatment and sludge treatment at the treatment facilities of Brest region]. XXI Respublikanskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya molodyh uchenyh [XXI Republican scientific and practical conference of young scientists]. Brest, 2019, part 1, pp. 3–5. (in Russian)
3. Basalaj E. N. *Ocenka vklada gorodskih ochistnyh sooruzhenij v zagryaznenie poverhnostnyh vod (na primere Brestskoj oblasti)* [Assessment of the contribution of urban wastewater treatment plants to surface water pollution (on the example of Brest region)]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*. Minsk, 2019, vol. 2, pp. 86–95. (in Russian)
4. Vil'dflush I. R. *Agrohimiya* [Agrochemistry]. Minsk, 2013, 704 p. (in Russian)
5. *Geohimicheskoe izuchenie landshaftov Berezinskogo biosfernogo zapovednika* [Geochemical study of landscapes of the Berezinsky biosphere reserve. Ed. by K. I. Lukashev]. Minsk, 1985, 144 p. (in Russian)
6. Saet Yu. E. *Geohimiya okruzhayushchej sredy* [Geochemistry of the environment]. Moscow, 1990, 335 p. (in Russian)
7. *Gigienicheskie normativy 2.1.7.12 1 2004: Perechen' PDK i ODK himicheskikh veshchestv v pochve* [Hygiene standards 2.1.7.12 1 2004: List of MPC and UEC of chemical substances in soil]. Ministry of health of the Republic of Belarus. Minsk, 2005, pp. 27–45. (in Russian)
8. Glazovskaya M. A. *Geohimiya prirodnih i tekhnogennyh landshaftov SSSR* [Geochemistry of natural and technogenic landscapes of the USSR]. Moscow, 1988, 327 p. (in Russian)
9. Golovatyy S. E. *Tyazhelye metally v agroekosistemah* [Heavy metals in agroecosystems]. Minsk, 2002, 240 p. (in Russian)
10. Golovatyy S. E. *Ekologo-geohimicheskaya ocenka zemel' v zone vozdejstviya pticevodcheskikh kompleksov* [Ecological and geochemical assessment of lands in the zone of impact of poultry complexes]. *Ekologicheskij vestnik : nauchno-prakticheskij zhurnal* [Ecological Bulletin: scientific and practical journal]. Minsk, 2017, vol. 4 (34), pp. 90–95. (in Russian)
11. Dregulo A. M., Panova N. E. *Ocenka negativnogo vozdejstviya na okruzhayushchuyu sredu poligonov skladirovaniya osadkov biologicheskikh sooruzhenij* [Evaluation of the negative environmental impact of landfills storage precipitation biological structures]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii = Ecology and industry of Russia*. 2012, vol. 8, pp. 43–45. (in Russian)
12. Dregulo A. M., Kulibaba V. V., Gil'deeva I. M. *Ilovyye ploshchadki kak specificheskie ob'ekty proshloga ekologicheskogo ushcherba (v chastnom bassejne Finskogo zaliva)* [Silt sites as specific objects of past environmental damage (in the private basin of the Gulf of Finland)]. *Obshchestvo. Sreda. Razvitie = Society. Wednesday. Development*. 2016, vol. 3, pp. 115–119. (in Russian)
13. Kakareka S. V. *Transgranichnoe zagryaznenie atmosfernogo vozduha i ego regulirovanie* [Transboundary air pollution and its regulation]. Minsk, 2009, 320 p. (in Russian)
14. *Krupnomasshtabnoe agrohimicheskoe i radiologicheskoe obsledovanie pochv sel'skohozyajstvennyh zemel' Respubliki Belarus'*: metod. ukazaniya [Large-Scale agrochemical and radiological survey of soils of agricultural lands of the Republic of Belarus : method. instructions]. Under. ed. by I. M. Bogdevich. Minsk, 2012, 46 p. (in Russian)
15. Lapa V. V., Ivakhnenko N. N. *Balans azota, fosfora i kaliya i primenie udobrenij na pochvah pahotnyh zemel' Belarusi* [Balance of nitrogen, phosphorus and potassium and application of fertilizers on the soils of arable lands of Belarus]. *Vesci Nacyyanal'naj akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnyh navuk = Vesti of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of agricultural Sciences*. Minsk, 2017, vol. 2, pp. 48–57. (in Russian)
16. Lihacheva A. V., Marcul' V. N., Magrel L., Denis L. *Vozdejstvie ilovyh ploshchadok na okruzhayushchuyu sredu* [Impact of silt pads on the environment]. *Vesci Nacyyanal'naj akademii navuk Belarusi. Seryya ximichnyh navuk = Vesti of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical science series*. Minsk, 2001, vol. 1, pp. 104–108. (in Russian)
17. Lihacheva A. V., Marcul' V. N. *Ocenka vozdejstviya ilovyh ploshchadok na okruzhayushchuyu sredu v sisteme obrashcheniya s izbytochnym aktivnym ilom* [Assessment of the impact of silt sites on the environment in the system of treatment with excess active silt]. *Novye tekhnologii reciklinga vtorichnyh resursov : materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii = New technologies for recycling secondary resources: materials of the International scientific and technical conference*. Minsk, 2001, pp. 159–164. (in Russian)
18. *Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu tyazhelyh metallov v pochvah sel'hozgodij i produkciu rastenievodstva* [Methodological guidelines for the determination of heavy metals in the soils of agricultural land and crop production]. Moscow, 1992, 74 p. (in Russian)

19. Mihal'chuk N. V., Dashkevich M. M., Mihal'chuk S. N., Kovalev I. V., Galuc O. A., Trofimchuk D. A. *Tyazhelye metally i mikroelementy v pochvah yugo-zapada Belarusi* [Heavy metals and trace elements in the soils of the South-West of Belarus]. *Aktual'nye problem nauk o Zemle: issledovaniya transgranicnyh regionov : sb. materialov IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., priuroch. k 1000-letiyu g. Bresta* [Proc. of the IV Int. sci.-pract. Conf., dedicated to the 1000th anniversary of Brest Actual problems of Earth Sciences 'Studies of cross-border regions']. Brest, 2019, part 1, pp. 16–24. (in Russian)
20. Mihal'chuk N. V., Myalik A. N. *Fonovoe soderzhanie tyazhelyh metallov i mikroelementov v pochvah i rastitel'nostiy ugo-zapada Belarusi kak osnova dlya srovnitel'nyh ocenok pri proizvodstve organicheskoy produktsii na osnove principov zelenoj ekonomiki* [Background content of heavy metals and trace elements in soils and vegetation of the South-West of Belarus as a basis for comparative assessments in the production of organic products based on the principles of green economy]. *Ekologo-geograficheskie problem perekhoda k zelenoj ekonomike = Ecological and geographical problems of transition to a green economy*. Minsk, 2019, pp. 266–281. (in Russian)
21. Natarov V. M. Lukashev O. V., Savchenko V. V. *Kompleksnyj geohimicheskij fonovyy monitoring v Berezinskem biosfernom zapovednik* [Complex geochemical background monitoring in the Berezinsky biosphere reserve]. Minsk, 2013, 213 p. (in Russian)
22. *Normativy predel'no-dopustimyh koncentracij podvizhnyh form nikelya, medi i valovogo soderzhaniya svinka v zemlyah (vklyuchaya pochvy), raspolozhennyh v granicah naselennyh punktov, dlya razlichnyh vidov territorial'nyh zon po preimushchestvennomu funkcional'nому ispol'zovaniyu territorij naselennyh punktov* [Standards of maximum permissible concentrations of mobile forms of Nickel, copper and gross lead content in lands (including soils) located within the borders of localities for various types of territorial zones for the primary functional use of localities]. *Utv. Postanovleniem ministerstva zdorovoохранения Республики Беларусь* [Approved. Resolution of the Ministry of health of the Republic of Belarus]. 19.11.2009, vol. 125. (in Russian)
23. *Normativy predel'no-dopustimyh koncentracij podvizhnyh form cinka, hroma, kadmiya v pochvah (zemlyah), razlichnyh funkcional'nyh zon naselennyh punktov, promyshlennosti, transporta, svyazi, energetiki, oborony i inogo naznacheniya* [Standards of maximum permissible concentrations of mobile forms of zinc, chromium, cadmium in soils(land), various functional zones of settlements, industry, transport, communications, energy, defense and other purposes]. *Utv. Postanovleniem ministerstva zdorovoохранения Республики Беларусь* [Approved. Resolution of the Ministry of health of the Republic of Belarus] 06.11.2008, vol.18. (in Russian)
24. GOST 17.4.1.02-83 *Ohrana prirody. Pochvy. Klassifikaciya himicheskikh veshchestv dlya kontrolya zagryazneniya* [Protection of nature. Soils. Classification of chemical substances for pollution control]. Introduction. 01.01.85, Moscow, 2008, 4 p. (in Russian)
25. Pahnenko E. P. *Osadki stochnyh vod i drugie netradicionnye organicheskie udobreniya* [Sewage Sludge and other non-traditional organic fertilizers]. Moscow, 2017, 311 p. (in Russian)
26. Perel'man A. I., Kasimov N. S. *Geohimiya landshafta* [Geochemistry of landscape]. Moscow, 1999, 610 p. (in Russian)
27. *Sostoyanie prirodnoj sredy Belarusi: ekol. byul. 2010 g.* [State of the natural environment of Belarus: Ecol. Byul. 2010]. Ed. by V. F. Loginov. Minsk, 2011, pp. 355–367. (in Russian)
28. TKP 17.03.01–2013 *Ohrana okrughayushchej sredy i prirodopol'zovanie. Zemli. Pravila i poryadok opredeleniya fonovogo soderzhaniya himicheskikh veshchestv v zemlyah (vklyuchaya pochvy)* [Environmental protection and environmental management of the Earth. Rules and procedure for determining the background content of chemicals in lands (including soils)]. Minsk, 2013. (in Russian)
29. Khomich V. S., Kakareka S. V., Kuharchik T. I. *Ekogeohimiya gorodskikh landshaftov Belarusi* [Ecogegeochemistry of urban landscapes of Belarus]. Minsk, 2004, 260 p. (in Russian)

Информация об авторах

Басалай Екатерина Николаевна – младший научный сотрудник, Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси (ул. Московская, 204/1-1, 224020, г. Брест, Беларусь). E-mail: basalaiekaterina@yandex.ru

Хомич Валерий Степанович – доктор географических наук, заместитель директора по научной работе, заведующий Центром экологии городов и трансграничного загрязнения, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: valery_khomich@mail.ru

Дашкевич Михаил Михайлович – научный сотрудник Полесского аграрно-экологического ин-та НАН Беларуси (ул. Московская, 204/1-1, 224020, г. Брест, Беларусь). E-mail: dashkevich.m.m@gmail.com

Information about the authors

Ekaterina N. Basalai – Junior Researcher, Poliesie Agrarian Ecological Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (204/1-1, Moscovskaya Str., 224020, Brest, Belarus). E-mail: basalaiekaterina@yandex.ru

Valery 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., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: valery_khomich@mail.ru

Mikhail M. Dashkevich – Researcher, The Poliesie Agrarian Ecological Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (204/1-1, Moscovskaya Str., 224020, Brest, Belarus). E-mail: dashkevich.m.m@gmail.com

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И АССОЦИАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ СРЕДНЕГО ГОРОДА (НА ПРИМЕРЕ г. БРОВАРЫ, УКРАИНА)

А. О. Сплодитель

Институт геохимии, минералогии и рудообразования
имени Н. П. Семененко НАН Украины, Киев, Украина

Аннотация. В работе анализируются особенности распределения тяжелых металлов в техногенно загрязненных почвах урбанизированных территорий на примере г. Бровары Киевской области. Показаны особенности геохимического распределения тяжелых металлов в почвенном покрове территории города, находящейся под влиянием промышленных предприятий. По геохимическим критериям определены техногенные ассоциации тяжелых металлов в почвах, которые представлены следующими элементами: Cu > Pb > Zn > Co > Cr > V > Mo > Mn > Ni. Уровень валового содержания соединений химических элементов в почвах различных зон города неоднороден. Выделены зоны города с максимальным полиэлементным загрязнением почв, приуроченные к урбанизированным зонам транспортной инфраструктуры и зонам производственных и коммунально-складских объектов. Городские почвы г. Бровары характеризуются медной геохимической специализацией. По показателям содержания тяжелых металлов в почвах техногенно-антропогенных зон города основными поплютантами являются Cu и Pb. По суммарному показателю загрязнения тяжелыми металлами верхний слой почв на большей части территории г. Бровары характеризуется допустимым уровнем загрязнения, в то же время на отдельных участках функциональных зон города уровень загрязнения почв тяжелыми металлами относится к категории «опасный».

Полученные результаты могут быть использованы при прогнозировании развития средних городов под влиянием техногенных процессов, управлении урбанизированными экосистемами, а также в учебном процессе в области геоэкологии.

Ключевые слова: тяжелые металлы; валовое содержание; подвижные формы; урбанизированные земли; миграция; закономерности распределения.

Для цитирования. Сплодитель А. О. Распределение и ассоциации тяжелых металлов в почвах среднего города (на примере г. Бровары, Украина) // Природопользование. – 2020. – № 1. – С. 98–107.

DISTRIBUTION AND HEAVY METALS ASSOCIATIONS IN THE SOILS OF A MEDIUM-SIZED CITY (ON THE EXAMPLE OF BROVARY CITY, UKRAINE)

A. O. Splodytel

Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation
of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Abstract. The article provides analysis of heavy metals distribution regularity in technogenically polluted soils of the urbanized territories as an example in the Brovary city Kyiv Region. The article presents the researches of specifics of geochemical distribution of heavy metals in soil covering of the city, which are influenced by industrial enterprises. According to the geochemical criteria, technogenic associations of heavy metals in soils were defined. They are represented by the following elements: Cu > Pb > Zn > Co > Cr > V > Mo > Mn > Ni. The level of total content of chemical elements compositions in soils of different zones of the city is diverse. The city zones with maximal multi-elemental pollution of the soils were detected. The maximum of technogenic load was recorded in urban soils of the transportation infrastructure and zone of industrial and communal and warehouse objects. The researched urban soils are characterized by copper geochemical content. According to the indices of heavy metals in soils of technogenic and anthropogenic zones of the city, the main pollutants are copper and lead.

According to the total indicator of heavy metal pollution, the topsoil in most of the territory of Brovary city is characterized by an acceptable level of pollution, but in certain areas of the city's functional zones, the level of pollution of heavy metals is classified as dangerous.

The obtained results can be used in predicting the development of medium-sized cities under the influence of technogenic processes, managing urbanized ecosystems, as well as in the educational process in the field of geoecology.

Keywords: heavy metals; total contents; moveable forms; urban soils; migration; distribution regularity.

For citation. Splodytel A. O. Distribution and heavy metals associations in the soils of a medium-sized city (on the example of Brovary city, Ukraine). *Nature Management*, 2020, no. 1, pp. 98–107.

Введение. Методологической составляющей эколого-геохимической оценки урбанизированных территорий является ландшафтно-геохимический анализ состояния окружающей среды. Важное направление такого анализа – изучение уровней загрязнения, процессов миграции поллютантов, трансформации техногенных потоков и аккумуляции тяжелых металлов (ТМ) в отдельных компонентах ландшафта с учетом природных условий и реакций природных ландшафтных систем на техногенное воздействие.

Интенсивное развитие промышленности и увеличение видов экономической деятельности общества является причиной и следствием роста процессов урбанизации. В Украине наблюдается устойчивая тенденция к росту доли городского населения. В настоящее время показатель урбанизации составляет 67 %, однако по прогнозам ООН, в 2050 г. часть городского населения Украины достигнет 79,0 %. Постоянно растущее загрязнение природных систем в результате антропогенной деятельности, низкая эффективность методов извлечения поллютантов представляют угрозу для здоровья людей и природной среды в целом.

В городах разнообразная урбанизационно-техногенная деятельность сопровождается геохимической трансформацией почв, нарушением их свойств и структуры. Наиболее значительные геохимические изменения в почвах приурочены к верхним почвенным горизонтам, в которые из атмосферы поступает значительное количество пыли и аэрозолей, содержащих поллютанты. В частности, тонкие фракции пыли и органические вещества увеличивают емкость поглощения городских почв, а выпадение карбонатной пыли приводит к увеличению pH верхних почвенных горизонтов [1–3].

Эколого-геохимические характеристики почвенного покрова промышленных городов в значительной степени определяются аккумуляцией загрязняющих веществ, включая ТМ и радионуклиды. Самыми распространенными ТМ, содержащимися в почвах городов, являются свинец (Pb), ртуть (Hg), хром (Cr), медь (Cu), никель (Ni) и цинк (Zn). Их содержание зависит от уровня техногенной химической нагрузки, а также сорбционных свойств почвы, на которую влияют pH и буферность почв, их фильтрационная способность, наличие гуминовых соединений и других компонентов почвы, некоторые другие свойства [4, 5]. Техногенные геохимические аномалии в почвенном покрове городов более устойчивы, чем в других компонентах природной среды. Поэтому степень и пространственная структура загрязнения почвенного покрова являются основными эколого-геохимическими критериями для оценки существующих и перспективных воздействий и их последствий.

Цель работы – дать эколого-геохимическую оценку почвенного покрова средних городов (на примере г. Бровары, Киевской области), выявить закономерности распределения загрязняющих веществ в городской среде.

Эколого-геохимическое направление изучения урбанизированных территорий основано на теоретико-методологических положениях, сформулированных в работах М. А. Глазовской, Б. Б. Полынова, А. И. Перельмана, Н. С. Касимова, В. Б. Ильина, А. Кабата-Пендиас и других ученых.

В Украине эколого-геохимические исследования различных компонентов ландшафта в разное время проводились Б. Ф. Мицкевичем, Г. Н. Бондаренко, И. В. Кураевой (Институт геохимии, минералогии и рудообразования имени М. П. Семененко НАН Украины), Л. Л. Малышевой (Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко), В. В. Долинным, Г. В. Лисиченко (Институт геохимии окружающей среды НАН Украины), В. А. Емельяновым, А. Ю. Митропольским, В. М. Шестопаловым (Институт геологических наук НАН Украины) и другими авторами. Однако для большинства из исследованных городских агломераций не выполнялся комплексный ландшафтно-геохимический анализ.

В предлагаемом исследовании особое внимание удалено определению содержания ТМ в урбанизированных ландшафтах, находящихся в пределах зон влияния техногенных объектов, а также анализу условий их латеральной миграции в почвенном покрове города.

Материалы и методы исследований. Объект исследования – ландшафтные комплексы, расположенные в пределах зон влияния крупных производственных предприятий и коммунально-складских объектов г. Бровары. Данный город – классический средний город Украины (численность населения до 100 тысяч человек), локализованный в непосредственной близости от г. Киева, фактически на границе с городской чертой столицы Украины. Этот город является важным промышленным центром, в котором функционируют крупные металлургические, химические, машиностроительные и другие предприятия.

Во время ландшафтно-геохимического изучения территории г. Бровары особое внимание было удалено территориям, находящимся в зонах влияния предприятий, которые характеризуются повышенными объемами выбросов в атмосферу: Казенный завод порошковой металлургии, ЗАО «Броварский завод пластмасс», СП «Броварский завод торгового машиностроения», КП «Киевский завод алюминиевых строительных конструкций», ООО «Полимер-котор».

В соответствии с генпланом в пределах г. Бровары нами выделены техногенно-антропогенные зоны города (зоны транспортной и инженерной инфраструктуры, производственных и коммунально-складских объектов, специального назначения), природно-антропогенные зоны (общественные и жилые зоны). Ландшафтно-рекреационные зоны, наименее нарушенные антропогенной деятельностью, рассматриваются нами в качестве местного геохимического фона.

Почвенный покров общественной зоны представлен типичными городскими почвами: урбанизмами, культуроземами и современными некроземами. В жилой зоне города преобладают реплантоzemы и урбоестественные почвы. Индустрисемы и интруземы представлены в транспортной, производственной и коммунально-складской зонах. Естественные ненарушенные почвы чаще всего приурочены к ландшафтно-рекреационным зонам города.

Исследования выполнены с использованием аналитических, картографических, статистических методов, методов ландшафтно-геохимических исследований с использованием средств ГИС-анализа. Базовая информация о ландшафтно-геохимической структуре территории дополнена подробными геохимическими исследованиями ландшафтов на ключевых участках.

Методика почвенно-геохимических исследований предусматривала отбор объединенных проб почвы (по каждому ключевому участку и почвенному выделу соответственно) согласно действующим государственным стандартам Украины – ДСТУ 4287:2004 «Качество почвы. Отбор проб; изучение гранулометрического состава почв» – в соответствии с ДСТУ 4730:2007 «Качество почвы. Определение гранулометрического состава методом пипетки в модификации Н. А. Качинского»; определение общего гумуса почвы – ДСТУ 4289:2004 «Качество почвы. Методы определения органического вещества»; pH почвы – по ГОСТ 26212-91 «Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО». Использованы методики определения состава и свойств почв, pH водной вытяжки – в соответствии с ГОСТ 17.5.4.01-84 «Охрана природы. Рекультивация земель. Метод определения pH водной вытяжки вскрышных и вмещающих пород». Отбор почвенных образцов выполнен по регулярной сети ключевых участков с учетом функционального зонирования города. Всего было проанализировано 1674 проб почвы, отобранных в разных функциональных зонах города.

В образцах почвы были определены их основные физико-химические свойства и общее содержание микроэлементов. Содержание ТМ определялось масс-спектральным (ICP-MS) и атомно-эмиссионным методами (ICP-AES) с индуктивно связанный плазмой на приборах Elan-6100, Optima-4300 DV (Perkin-Elmer, США) и ICP-MS анализатор ELEMENT 2 (Германия) в Институте геологии Польской академии наук и в Институте геохимии, минералогии и рудообразования имени Н. П. Семененко НАН Украины.

Для статистической оценки результатов исследований были рассчитаны коэффициенты корреляции. Указанные коэффициенты и численные показатели содержания ТМ в анализируемых пробах почвы сравнивали со значениями, определяющими геохимический фон почв на основе результатов собственных исследований города и данным Национального научного центра «Институт почвоведения и агрохимии имени Соколовского», а также с нормативными показателями значений ПДК валового содержания и ПДК подвижных форм [6] поллютантов в почвах. Для оценки загрязненности почв использовали коэффициент концентрации K_c , который рассчитывали по формуле: $K_c = C / C_\phi$, где C – фактическое содержание загрязняющего вещества; C_ϕ – значение его фонового содержания.

Для всех ключевых участков был рассчитан суммарный показатель загрязнения почв (Z_c), в соответствии с формулой Ю. Е. Саэта с соавторами [7]:

$$Z_c = \sum K_c - (n - 1),$$

где n – количество аномальных элементов; K_c – коэффициент концентрации (отношение содержания химического элемента в оцениваемом объекте к его фоновому содержанию).

Для оценки загрязнения почв использовали градацию относительно предельно допустимых концентраций (ПДК) химических веществ в почвах: низкий уровень загрязнения – 1–3 ПДК, средний – 3–5 ПДК, повышенный – 5–10 ПДК, высокий – 10–15 ПДК и очень высокий уровень – >15 ПДК.

Результаты и их анализ. В естественных условиях содержание и распределение ТМ в почвенных профилях определяется количеством органического вещества, физико-химическими свойствами почв и характером почвообразующих процессов. Естественное содержание микроэлементов в почве зависит прежде всего от типа материнской породы, которая является основным источником их происхождения [5].

Характерными чертами городских почв являются нейтральная или щелочная реакция, повышенная объемная масса, низкая влагоемкость, а также уплотненность почв, что способствует закреплению в них элементов-загрязнителей [3].

В наиболее распространенных почвах основных функциональных зон города было определено валовое содержание Pb, Cr, Ni, Zn, Cu, Ni, Co, Mn и V. Проведенные исследования показали (табл. 1), что среднее валовое содержание ТМ в почвах большинства функциональных зон г. Бровары превышает фоновые значения, а по содержанию Cr, Cu, Pb, Zn и значения ПДК. В то же время их содержание в почвах ландшафтно-рекреационной зоны гораздо ниже, чем в почвах зоны производственных и коммунально-складских объектов.

Таблица 1. Среднее валовое содержание (мг/кг) и коэффициенты концентрации тяжелых металлов в почвах различных функциональных зон г. Бровары (рассчитано на основе результатов выполненных исследований)

Table 1. Average contents (mg/kg) and coefficients of heavy metal concentration in the borders of functional zones of the city of Brovary (calculated based on the research results)

Хими-ческий элемент	Функциональная зона (количество проб)*							Региональный фон [6]	ПДК [6]
	общественная (144)	жилая (106)	ландшафтно-рекреационная (78)	транспортной инфраструктуры (130)	инженерной инфраструктуры (92)	производственных и коммунально-складских объектов (163)	специального назначения (125)		
Mn	400,0 1,01	380,0 0,90	220,0 0,50	760,0 1,90	670,0 1,70	910,0 2,30	830,0 2,10	395	1500
Ni	9,4 0,70	8,3 0,69	8,1 0,67	10,0 0,83	7,5 0,60	11,0 0,90	10,0 0,80	12	20
Co	5,6 0,56	4,7 0,47	4,1 0,41	6,4 0,64	32,0 3,20	52,0 5,20	44,0 4,40	10	–
V	14,0 0,87	9,5 0,59	11,0 0,68	10,0 0,62	32,0 2,00	43,0 2,60	29,0 1,80	16	42
Cr	42,0 1,07	55,0 1,40	28,0 0,70	82,0 2,10	110,0 2,80	138,0 3,50	102,0 2,60	39	100
Mo	2,1 0,87	1,9 0,79	1,7 0,70	4,2 1,70	5,1 2,10	6,4 2,60	4,5 1,80	2,4	–
Cu	31,0 3,80	43,0 5,30	38,0 4,70	115,0 14,30	340,0 42,50	540,0 67,50	490,0 61,00	8	33
Pb	55,0 5,00	18,0 1,60	16,0 1,40	82,0 5,80	76,0 6,90	78,0 7,00	62,0 5,60	11	32
Zn	35,0 0,80	55,0 1,30	32,0 0,76	110,0 2,60	165,0 3,90	230,0 5,40	170,0 4,00	42	55

*В числителе – среднее содержание элемента, мг/кг; в знаменателе – коэффициент концентрации.

Свинец является приоритетным загрязняющим веществом почвенного покрова г. Бровары наряду с медью. Его валовое содержание изменяется от 8 до 400 мг/кг при фоновом значении 11 мг/кг.

Среднее валовое содержание свинца в городских почвах всех техногенно-антропогенных функциональных зон г. Бровары превышает его ПДК (32 мг/кг). Низким уровнем валового содержания свинца характеризуются почвы ландшафтно-рекреационной и жилой зон (16–18 мг/кг), в то время как в почвах зон транспортной и инженерной инфраструктуры (от 76–82 мг/кг) его содержание выше среднего.

Выявлены три пробные площадки с экстремально высокими значениями содержания свинца в почвах на территории города:

- вблизи СП «Броварской завод торгового машиностроения» – 532,7 мг/кг (зона производственных и коммунально-складских объектов);
- в городском районе «Торгмаш» – 306,5 мг/кг (зона транспортной инфраструктуры);
- на берегу озера Монах – 270,6 мг/кг (земли общественной зоны).

Высокие показатели концентрации свинца (348 и 400 мг/кг) зафиксированы также по улице Гагарина (в пределах жилой зоны и в пределах инженерного коридора по ул. Оникиенко).

В почвах 2 % территории города (урбанизмы общественной зоны) был выявлен очень высокий уровень загрязнения почв свинцом (более 400 мг/кг) на 32 % территории (интруземы коммунально-складской зоны) – повышенный (256 мг/кг) на 9 % (урбанизмы зоны транспортной инфраструктуры) – средний (165 мг/кг) и лишь на 15 % – низкий (86 мг/кг), что связано с высокими транспортными нагрузками в пригородной зоне г. Киева.

Медь. Для почв г. Бровары характерно повышенное содержание меди. В большинстве исследованных почвенных проб концентрации меди превышают фон (8 мг/кг) и ПДК (33 мг/кг) в десятки раз.

Максимальное содержание меди (1000 мг/кг) было зафиксировано на газоне в районе ул. Перронная. Данные о валовом содержании меди в почвах зоны производственных и коммунально-складских объектов (600–1000 мг/кг) и жилой зоны (80–100 мг/кг), общественной зоны (400–600 мг/кг) можно рассматривать как генерализованное единство. Оно характеризуется повышенным и высоким уровнем содержания этого металла, в то время как в почвах ландшафтно-рекреационной зоны (30–50 мг/кг) содержание меди относительно низкое. В 90 % почвенных проб, отобранных в разных частях г. Бровары, наблюдается превышение ПДК по валовому содержанию меди в 30 раз и более. В первую очередь это характерно для урбанизмов зоны производственных и коммунально-складских объектов и зоны специального назначения.

Похожая ситуация наблюдается по валовому содержанию **ванадия**. Уровень содержания этого металла в почвах общественной зоны оценен как средний (10–18 мг/кг), в то время как в почвах зоны производственных и коммунально-складских объектов содержится избыточное его количество (>40 мг/кг), а на 20 % исследуемых территорий наблюдается превышение ПДК (которая составляет 150 мг/кг) в среднем в 3,1 раза.

Никель и кобальт. Почвенный покров территории играет решающую роль в распределении никеля и кобальта, содержание которых зависит от их количества в почвообразующих породах. Максимальные значения никеля и кобальта приурочены к гумусовым горизонтам почвы. В глеевых горизонтах при высоких концентрациях железа происходит заметное снижение содержания этих веществ по сравнению с неоглеенными [3–5, 8].

Анализ результатов проведенных исследований свидетельствует о равномерном распределении никеля и кобальта в почвах территории города. Их содержание не превышает верхнюю границу допустимых концентраций в поверхностных горизонтах почвы (Ni – 8–10 мг/кг, Со – 4–6 мг/кг). Только в районе зоны производственных и коммунально-складских объектов (ул. Металлургов, Щелковской и Оникиенко) их содержание превышает ПДК в 2–4 раза (достигая 100 мг/кг).

Цинк. Почвы города характеризуются контрастным распределением цинка: от 60 до 1000 мг/кг. В большинстве образцов содержание цинка не превышает 120 мг/кг, при региональном фоновом значении – 42 мг/кг.

Повышенное содержание цинка в почвах наблюдается в основном в северо-восточной и северо-западной частях города – в районах, наиболее индустриализированных и прилегающих к основным автомобильным дорогам. Самая высокая концентрация цинка зафиксирована в почвах ключевых участков, расположенных на улицах Лесная, Бандеры, Фиалковского, Симоненко. Максимальное содержание цинка в почве (1050 мг/кг) обнаружено возле предприятия КП «Киевский завод алюминиевых строительных конструкций».

Очень высокое содержание цинка (530–827 мг/кг) выявлено в почвах вблизи ЗАО «Броварской завод пластмасс» и СП «Броварской завод торгового машиностроения». Содержание цинка на уровне 347 мг/кг было также обнаружено в образцах почв, отобранных на улицах Переяслав Шлях и Бандеры.

Марганец. Почвенный покров территории г. Бровары имеет в своем составе относительно высокие содержания марганца, однако коэффициент концентрации в почвах в среднем не превышает 6, а более 40 % обследованных площадей включает от 360 до 540 мг/кг этого элемента. Максимальное содержание марганца зафиксировано в зоне производственных и коммунально-складских объектов (2300 мг/кг). При этом значения концентрации в пределах города изменяются в пределах от 320 до 1900 мг/кг. Загрязнение почв марганцем особенно существенно вблизи предприятий Казенный завод порошковой металлургии (1910 мг/кг) и ОАО «Завод строительных конструкций» (2100 мг/кг).

Хром. Установленное нами фоновое содержание хрома в почве города равно 39 мг/кг. Среднее содержание в супесчаных и глинистых почвах г. Бровары составляет 37 мг/кг. В целом для г. Бровары выявлены незначительные колебания содержания хрома в различных почвах, большее количество этого элемента соответствует светло-серым глееватым легкосуглинистым и аллювиальным супесчаным почвам – 60–80 мг/кг. Максимальные значения зафиксированы в почвах зон специального назначения (102 мг/кг) и инженерной инфраструктуры (110 мг/кг). Высокое содержание хрома (92–140 мг/кг) характерно также для почв зоны производственных и коммунально-складских объектов.

В жилой зоне г. Бровары накопление ТМ в почвах происходит аналогично биогенным элементам по концентрическому типу (в соответствии с пространственным развитием города). Это обусловлено

лено не только типом почвообразующих пород, но и временными различиями в застройке этих территорий.

Пространственный анализ значений коэффициентов концентраций ТМ по отношению к фону ($K_c > 1,0$) позволил выявить и охарактеризовать техногенные педогеохимические аномалии на территории города.

В соответствии со значениями этого коэффициента в почвах города сформировалась аномалия Cu, Pb, Zn ($K_c > 3$) в зонах инженерной инфраструктуры, производственных и коммунально-складских объектов; Pb, Zn, Co – в зоне инженерной инфраструктуры; Pb и Cu – в общественной зоне; Zn, Ni, Pb, Cu – в зоне транспортной инфраструктуры.

Для серых почв зоны специального назначения характерно повышенное содержание Pb, Cu; для дерново-подзолистых почв – Pb и Cu; для дерново-подзолистых глееватых и луговых почв – Cu и Zn; для урбанизированных основными поллютантами являются Cu, Zn, Pb ($K_c > 4,0$).

В целом для г. Бровары установлено полизлементное загрязнение почв. В почвах техногенно-антропогенных зон города основными поллютантами являются Cu, Pb и Zn. Ряды накопления валовых форм ТМ в соответствии с K_c в пределах различных функциональных зон города выглядят следующим образом (жирным шрифтом выделены элементы сильного накопления):

общественная зона: **Pb > Cu > Cr > Mn > V > Mo > Zn > Ni > Co;**

жилая зона: **Cu > Pb > Cr > Mn > Zn > Mo > Ni > V > Co;**

ландшафтно-рекреационная зона: **Cu > Pb > Zn > Mo > Cr > Mn > V > Ni > Co;**

зона транспортной инфраструктуры: **Cu > Pb > Zn > Cr > Mn > Mo > Ni > Co > V;**

зона инженерной инфраструктуры: **Cu > Pb > Zn > Co > Cr > Mo > V > Mn > Ni;**

зона производственных и коммунально-складских объектов: **Cu > Pb > Zn > Co > Cr > V > Mo >**

> Mn > Ni;

зона специального назначения: **Cu > Pb > Co > Zn > Cr > Mn > V > Mo > Ni.**

Почвы ландшафтно-рекреационной зоны отличаются наименьшим содержанием ТМ: для многих элементов $K_c < 1$, накопление отмечается только для Cu и Pb. Для зон производственных и коммунально-складских объектов и специального назначения характерны одни из самых высоких концентраций поллютантов в городе. Наиболее интенсивно аккумулируются здесь Cu, Pb, Zn, Co, Cr. Вблизи крупных автомагистралей – Pb, Zn ($K_c = 2,6$ и 5,8 соответственно), а также Cr, Mo, Ni ($K_c = 2,1$ –3,5). Локализация аномалий ТМ зафиксирована в городской промышленной зоне и вдоль автомагистралей.

В жилой зоне города прослеживаются некоторые различия в поведении ТМ в почвах одноэтажной застройки и зоны многоквартирной мало- и среднеэтажной застройки. Процессы аккумуляции и рассеяния ТМ в почвах частной застройки идут менее интенсивно, чем многоэтажной, несмотря на их значительную эмиссию. Районы одноэтажной застройки характеризуются слабой геохимической трансформацией почвенного покрова: для большинства элементов $K_c < 1,0$, кроме Zn, Pb. В зоне многоэтажной застройки обнаружены более высокие концентрации ТМ, особенно Cr и Cu ($K_c = 1,4$ и 5,3 соответственно). В фоновых почвах и в ландшафтно-рекреационной зоне города кроме ассоциации Cu > Zn > Pb > Mo > Cr > Mn > V > Ni > Co наблюдается также ассоциация Cu > Pb > Cr > Mn > Zn > Mo > Ni > V > Co. Состав ассоциаций в почвах районов частной застройки близок к ассоциациям элементов, характерных для фоновой территории и ландшафтно-рекреационной зоны.

Особенное значение при оценке эколого-геохимического состояния почв имеют подвижные формы ТМ, способные переходить из твердых фаз в почвенные растворы и поглощаться живыми организмами [5, 8]. Именно поэтому нами проведена оценка содержания подвижных форм ТМ как в почвах основных функциональных зон города, так и в основных типах почв в пределах г. Бровары.

В отличие от валового содержания, концентрации подвижных форм свинца в почвах всех исследуемых функциональных зон города не превышают ПДК. Превышения санитарно-гигиенических нормативов не выявлены также для Co и Ni.

Содержание подвижных форм Zn в дерново-слабоподзолистых песчаных и супесчаных почвах ландшафтно-рекреационной и жилой зон находится в пределах допустимых значений, в то время как их содержание в почвах зоны производственных и коммунально-складских объектов превышает ПДК. На 58 % территории специальной зоны и зоны транспортной инфраструктуры содержание подвижного Zn в почве превышает ПДК в 1,1–2,7 раза. В почвах всех функциональных зон г. Бровары установлено превышение ПДК по содержанию подвижной Cu. На 90 % территории зоны производственных и коммунально-складских объектов и зоны специального назначения, независимо от типа почв, содержание подвижной Cu достигает 1,4–3,2 ПДК, на 32 % территории жилой зоны (урбанизированные земли) – до 2,3 ПДК. В пределах 34 % территорий, для которых характерно распространение дерновых глееватых супесчаных почв, и на 19 % территорий со светло-серыми почвами отмечается превышение ПДК подвижной Cu, которое составляет 1,2–3,4 ПДК и 1,1–1,6 ПДК соответственно.

Нами выявлены следующие ассоциации подвижных форм ТМ в почвах различных функциональных зон г. Бровары:

общественная зона: Zn > Cu > Pb > Ni > Co > Cr;

жилая зона: Zn > Cu > Pb > Co > Ni > Cr;

ландшафтно-рекреационная зона: Zn > Cu > Pb > Co > Cr > Ni;

зона транспортной инфраструктуры: Zn > Cu > Pb > Ni > Co > Cr;

зона инженерной инфраструктуры: Zn > Cu > Pb > Co > Ni > Cr;

зона производственных и коммунально-складских объектов: Zn > Cu > Pb > Co > Ni > Cr;

зона специального назначения: Cu > Zn > Pb > Co > Ni > Cr.

По содержанию и степени загрязнения подвижными формами ТМ природные фоновые почвы имеют низкое содержание Ni, Co, Cr, среднее – Cu, Pb и Zn. Почвы, которые занимают 7 % площади общественной и жилой зоны и 32 % ландшафтно-рекреационной зоны, слабо загрязнены Cu, 11 % территории зоны инженерной инфраструктуры и 21 % территории города, занятые светло-серыми легкосуглинистыми почвами, имеют высокую степень загрязнения почв Cu.

Фоновые почвы города накапливают подвижные формы ТМ в следующем порядке убывания:

светло-серая супесчаная: Cu > Zn > Ni > Pb > Cr > Co;

светло-серая легкосуглинистая: Zn > Cu > Ni > Pb > Co > Cr;

дерновая глееватая слабосолонцеватая легкосуглинистая: Zn > Cu > Pb > Ni > Co > Cr;

дерново-слабоподзолистая песчано-супесчаная: Zn > Cu > Ni > Co > Pb > Cr;

аллювиальная слоистая супесчаная: Zn > Cu > Co > Pb > Ni > Cr.

По суммарному показателю загрязнения почв подвижными формами ТМ исследуемые функциональные зоны города испытывают умеренно опасное техногенное загрязнение.

Вместе с тем для почв жилой и ландшафтно-рекреационной зоны характерна противоположная тенденция – здесь металлы накапливаются преимущественно в фиксированных, неподвижных формах.

В дерново-слабоподзолистых песчаных и супесчаных почвах фоновых территорий города не наблюдается значительных колебаний валового содержания Cr, Ni и Co по почвенному профилю. По сравнению с урбаноземами в почвах фоновых территорий происходит увеличение накопления соединений ТМ с глубиной. Очевидно, это связано со значительно меньшим уровнем техногенной нагрузки и повышенной кислотностью верхних горизонтов природных почв по сравнению с городскими почвами. В таких условиях растворимость соединений большинства ТМ повышается и увеличивается их миграционная способность. Низкое содержание ТМ в верхнем гумусовом горизонте и преобладающее их накопление в нижних почвенных горизонтах объясняется также отсутствием в пределах исследуемого фонового участка древесных форм растительности. Очевидно, что это препятствует перемещению ТМ из почвообразующих пород в верхние горизонты почвы и наземную часть растений. В этом случае наблюдается низкая контрастность биогеохимического барьера, связанного с образованием растительной биомассы. Исключение составляет только цинк, содержание которого в верхнем горизонте почвы несколько выше. Городские почвы значительно загрязнены ТМ по сравнению с естественными фоновыми почвами. Максимальные концентрации элементов-загрязнителей в большинстве случаев приурочены к верхнему органогенному горизонту, где интенсивно протекает процесс гумусообразования, что способствует связыванию ТМ и их накоплению.

Другие горизонты исследуемых почв характеризуются низким содержанием гумуса (до 0,4 %), с глубиной меняется реакция среды почвенного раствора, а плотность почвы возрастает. Эти свойства приводят к снижению микробиологической активности почв и подвижности ТМ. Распределение части ТМ (Pb, Zn, Cu) в почвах функциональных зон города подчинено общим тенденциям: в почвах природно-антропогенных зон по профилю ТМ распределяются равномерно, как и в почвах фоновой территории с небольшим накоплением в верхнем горизонте. Для техногенно-антропогенных зон города, независимо от типа почв, наблюдается четкая аккумуляция металлов в верхнем почвенном горизонте.

Это связано в первую очередь с аэрохимическим характером загрязнения этих почв. На накопление этих металлов влияет и сорбционный барьер, который проявляется в закреплении металлов органическим веществом и глинистыми компонентами [9]. Например, Cu и Zn, будучи микроэлементами, могут накапливаться в верхнем горизонте и за счет биогенной аккумуляции.

Распределение Ni, Mn и V имеет свои особенности. В почве фоновой территории накопление Ni и Mn наблюдается в гумусно-элювиальном горизонте, на глубине от 8–10 см, а V аккумулируется в переходном к почвообразующей породе горизонте, на глубине от 28 см.

Подобные закономерности характерны для Ni в почвах всех техногенно-антропогенных зон города, для Mn – в почвах зоны производственных и коммунально-складских объектов, для V – в почвах зоны инженерной инфраструктуры, а также ландшафтно-рекреационной зоны. В почвах жилой и общественной зоны Mn и V аккумулируются в верхнем гумусовом горизонте.

Таким образом, на накопление ТМ в почвах города влияет высокая доля подвижных форм ТМ в аэральных выпадениях и их накоплении на механическом барьере. В распределении подвижных форм ТМ по профилю городских почв, независимо от их типа, общие закономерности выявить не удалось. Очевидно, они в значительной степени связаны с физико-химическим составом почв. Наибольшая миграционная способность подвижных форм Pb отмечается в почвах зоны транспортной инфраструктуры и зоны производственных и коммунально-складских объектов, где удерживающая способность ТМ изменяется вследствие пониженного содержания органического углерода и в зависимости от поглотительной способности почв.

В почвах жилых и общественных зон максимум накопления Pb зафиксирован в переходном к почвообразующей породе горизонте, поскольку решающую роль играет уровень pH, который в нем максимальный. На большинстве территорий природно-антропогенных зон города накопление Pb отмечается в иллювиально-гумусовом горизонте. Распределение подвижных форм Zn по почвенному профилю фоновых почв, почв жилой и ландшафтно-рекреационной зоны равномерное, а для светло-серых супесчаных почв – аналогично закономерностям распределения его валовых форм. В почвах зоны производственных и коммунально-складских объектов наблюдается два максимума накопления подвижных форм цинка: в верхнем горизонте, наиболее обогащенном гумусом, и в нижнем, где происходит рост pH почвенного раствора. Накопление подвижных форм Cu и Co в городских почвах и почвах фоновой территории примерно аналогичное по профилю, исключение составляют почвы зоны специального назначения, где у Cu наблюдается два максимума накопления, как и у Zn, а у Co – один, в иллювиально-гумусовом горизонте с признаками урбопедогенеза.

Величина pH почвенного раствора влияет и на аккумуляцию Ni в переходном к почвообразующей породе горизонте в почвах зоны производственных и коммунально-складских объектов. В почвах жилой зоны и ландшафтно-рекреационной зоны накопление Ni происходит в верхних горизонтах и уменьшается вниз по профилю, в серых лесных легкосуглинистых почвах, как правило, наблюдается два максимума накопления.

На основе значений коэффициентов концентрации был рассчитан суммарный показатель загрязнения Z_c , который отражает общее содержание ТМ в почвах, как по основным функциональным зонам города, так и по основным типам почв города (табл. 2).

Таблица 2. Средний суммарный показатель загрязнения почв в различных функциональных зонах г. Бровары

Table 2. Average total indicator of soils pollution in different function zones of Brovary

Функциональная зона	Средний суммарный показатель загрязнения по городу (750)	Категория загрязнения	Средний суммарный показатель загрязнения по данным мониторинговых площадок (157)	Категория загрязнения
1. Общественная	7,8	Допустимая	42	Опасная
2. Жилая	6,6	Допустимая	30	Умеренно-опасная
3. Ландшафтно-рекреационная	5,1	Допустимая	52	Опасная
4. Транспортной инфраструктуры	23,4	Умеренно-опасная	68	Опасная
5. Инженерной инфраструктуры	58,1	Опасная	81	Опасная
6. Производственных и коммунально-складских объектов	89,1	Опасная	106	Опасная
7. Специального назначения	76,3	Опасная	76	Опасная
Z_c (в среднем для всех зон города)	38	Опасная	65	Опасная

Анализируя полученные результаты суммарного показателя Z_c , не превышающего 16 единиц по трем функциональным зонам (общественной, жилой и ландшафтно-рекреационной), можно сказать, что в целом все почвы по суммарному загрязнению ТМ можно отнести к первой категории загрязнения (допустимая категория). Остальные зоны города по показателю суммарного загрязнения ТМ попадают в категории 2 и 3 (умеренно-опасная и опасная соответственно).

Для проведения систематических исследований, позволяющих провести необходимые оценки в качестве основных объектов исследования были отобраны почвы в разных ландшафтных условиях в каждой из функциональных зон, подверженных антропогенной нагрузке, расположенных на фоновых урочищах террасы Козелецко-Бориспольского ландшафта. Всего было заложено 157 пробных

площадок, на которых были отобраны смешанные почвенные образцы из верхнего 10-сантиметрового слоя.

Основной целью пробных площадок являются комплексные мониторинговые исследования, основанные на ландшафтоведческих позициях, основных направлениях и методах получения и использования информации для организации геэкологического мониторинга антропогенных изменений ландшафтов и контроле содержания ТМ в черте г. Бровары.

При анализе данных мониторинговых площадок города по Z_c произошло изменение категорий опасности загрязнения почв. По суммарному показателю техногенного загрязнения жилая зона города относится к умеренно-опасной категории загрязнения почв. Все остальные функциональные зоны города могут быть отнесены к категории опасных. Более отчетливо проявилась аномалия высоких значений уровня загрязнения на площиади, ограниченной улицами Бандери и Металлургов. Максимальный вклад в суммарный показатель загрязнения вносят Cu и Pb.

По показателям валового содержания ТМ в почвах техногенно-антропогенных зон города основными поллютантами являются Cu, Pb и Zn. Наиболее опасный загрязнитель почв большинства функциональных зон города – подвижные формы Zn.

Распределение металлов по почвенному профилю природных и природно-антропогенных зон города имеет схожий характер. Загрязнение разных типов почв г. Бровары ТМ имеет гумусово-аккумулятивный характер, т. е. максимум накопления отмечается в верхнем горизонте, что связано в первую очередь с их аэробиогенным поступлением, значительным закреплением на биогеохимических сорбционных барьерах путем связывания с гумусовыми веществами почв и за счет биологического накопления.

Среди природных факторов определяющим в распределении ТМ на территории города является содержание гумуса, т. е. активность биогеохимического барьера. В слабогумусированных (с содержанием гумуса <0,6 %) почвах содержание ТМ увеличивается при росте pH. В почвах с более высоким содержанием гумуса (0,7–1,0 %) ТМ фиксируются глинистыми частицами, особенно уровень загрязнения повышается в диапазоне их содержания от 11,2 до 15,2 %. В почвах с относительно повышенным (>1 %) содержанием гумуса аккумуляция ТМ определяется количеством физической глины и карбонатов. Максимальное содержание загрязняющих веществ на территории города приурочено к почвам с легким гранулометрическим составом и высоким содержанием карбонатов. В почвах с содержанием физической глины > 13 % показатель загрязнения возрастает при pH < 7,5, что может быть следствием совокупного действия сорбционного барьера и перехода отдельных поллютантов при подкислении среды в малоподвижные формы (Mo).

Выводы

В рамках данной работы проведен анализ пространственного распределения содержания ТМ в почвах г. Бровары. В результате были получены следующие результаты.

1. Установлено наличие полиэлементного загрязнения почвенного покрова г. Бровары. При этом наблюдается увеличение подвижности ТМ, что связано с конкурентным взаимодействием изучаемых металлов. По показателям валового содержания ТМ в почвах техногенно-антропогенных зон города основными поллютантами являются Cu, Zn и Pb. Для этих металлов наиболее часто встречаются случаи превышения ПДК, а максимальная кратность превышения составляет 30,3, 15,6 и 16,1 соответственно.

2. Отмечено значительное варьирование содержания ТМ в пределах каждой функциональной зоны, что является характерным признаком городских почв, подверженных различным видам антропогенного воздействия. Концентрации валовых форм исследуемых ТМ превышают фоновые значения в 17–28 раз. Почвы города характеризуются следующей техногенной геохимической ассоциацией ТМ: Cu > Pb > Zn > Co > Cr > V > Mo > Mn > Ni. Доминирующая ассоциация распределяется по территории мозаично, в зависимости от характера источников загрязнения и расстояния от них. Максимальные уровни загрязнения зафиксированы в урбанизмах зоны транспортной инфраструктуры и зоны производственных и коммунально-складских объектов.

3. Радиальная дифференциация подвижных форм ТМ в почвах г. Бровары отличается от такой их валового содержания. В фоновых условиях содержание подвижных форм ТМ достигает максимума в поверхностном слое почвы (Cu и Zn), в гумусно-элювиальном (Cr и Ni), либо характеризуется максимумом в переходном к почвообразующей породе горизонте (Pb и V). На участках, подвергающихся загрязнению, наблюдается тенденция к усилению приповерхностных максимумов содержания подвижных форм ТМ (Cu и Zn). Основной причиной этого является рост валового содержания некоторых ТМ в поверхностном слое почвы.

4. По суммарному показателю загрязнения почв г. Бровары относится к городам с допустимым уровнем загрязнения. Однако, по данным мониторинговых площадок города, большинство функци-

нальных зон города относятся к категории опасных ($Z_c = 65$). Максимальный вклад в суммарный показатель загрязнения почв вносят Cu, Pb, Zn и Cr.

Таким образом, высокие уровни содержания ТМ в почвах г. Бровары, относящегося к категории средних промышленных городов, характеризуются медной геохимической специализацией и главным образом зависят от уровня техногенной нагрузки.

Список использованных источников

1. Экология города / Н. С. Касимов [и др.]. – М. : Научный мир, 2004. – 218 с.
2. Алексеенко, В. А. Химические элементы в городских почвах / В. А. Алексеенко, А. В. Алексеенко. – М. : Логос, 2014. – 312 с.
3. Важкі метали у компонентах навколошнього середовища м. Маріуполь (еколого-геохімічні аспекти) / С. П. Кармазиненко, І. В. Кураєва, А. І. Самчук, Ю. Ю. Войтюк, В. І. Манічев. – К. : Інтерсервис, 2014. – 168 с.
4. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас. – М. : Мир, 1989. – 439 с.
5. Жовинський, Е. Я. Еколо-геохімічні дослідження об'єктів довкілля України / Е. Я. Жовинський, І. В. Кураєва. – К. : Альфа-реклама, 2012. – 156 с.
6. Фатєєв, А. І. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України / А. І. Фатєєв, Я. В. Пащенко. – Х. : Інститут ґрунтознавства та агрочімії ім. О. Н. Соколовського, 2003. – 117 с.
7. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Саэт [и др.]. – М. : Недра, 1990. – 335 с.
8. Alloway, B. J. Heavy metals in soils / B. J. Alloway. – L. : Blackie Academy, 1995. – 368 с.
9. Городская среда: геоэкологические аспекты / В. С. Хомич [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2013. – 301 с.

References

1. Kasimov N. S. et al. *Ekologija goroda* [City Ecology]. Moscow, 2004, 218 p. (in Russian)
2. Alekseenko V. A., Alekseenko A. V. *Himicheskie elementy v gorodskih pochvah* [Chemical elements in urban soils]. Moscow, 2014, 312 p. (in Russian)
3. Karmazinenko S. P., Kuraeva I. V., Samchuk A. I., Vojtyuk Y. U., Manichev V. J. *Vazhki metali u komponentakh navkolishn'ogo seredovishcha m. Mariupol'* (ekologo-geochemicali aspekti) [Heavy metals in the environmental components of the city of Mariupol (ecological and geochemical aspects)]. Kiev, 2014, 168 p. (in Ukrainian)
4. Kabata-Pendias A. *Mikroelementyi v pochvah i rasteniyah* [Microelements in soils and plants]. Moscow, 1989, 439 p. (in Russian)
5. Zhovynskyi E. Ya., Kuraeva I. V. *Ekolo-geochemicali doslidzhennia obiectiv dovkillia Ukrayny* [Ecological-geochemical investigation of environmental objects of Ukraine]. Kyiv, 2012, 156 p. (in Ukrainian)
6. Fatiiev A. I., Pashchenko Ya. V. *Fonovyi vmist mikroelementiv u gruntakh Ukrayny* [Background content in the soils of Ukraine]. Kharkiv, 2003, 117 p. (in Ukrainian)
7. Saet Yu. E., Revich B. A., Yanin E. P. et al. *Geohimiya okruzhayuschej sredy* [Geochemistry of the environment]. Moscow, 1990, 335 p. (in Russian)
8. Alloway B. J. Heavy metals in soils. London, Blackie Academy, 1995, 368 p.
9. Khomich V. S. et al. *Gorodskaya sreda: geoekologicheskie aspekty* [Urban environment: geo-ecological aspects]. Minsk, Belorus. Nauka Publ., 2013, 301 p. (in Russian)

Информация об авторе

Спладитељ Анастасія Олеговна – кандидат географіческих наук, докторант, Інститут геохімії, мінералогії та рудообразування ім. Н. П. Семененка НАН України (пр. Акад. Палладина, 34, 03142, Київ, Україна). E-mail: asplodytel@gmail.com

Information about the author

Anastasiia O. Splydytel – Ph. D (Geography), Doctoral Candidate, Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine (Avenue Academician Palladin, 34, 03142, Kiev, Ukraine). E-mail: asplodytel@gmail.com

ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ШИРОТЫ

Л. С. Лис

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. Обоснован перечень важнейших исследуемых характеристик торфяного фонда, предложенна методика определения их средневзвешенного значения для территории административной области, основанная на анализе гистограмм распределения этих характеристик особого построения, позволяющих рассчитывать их с учетом запасов торфа. Для анализа закономерностей изменения принятых характеристик на территории республики выбрано направление север–юг как наиболее изменчивое по основным определяющим факторам торфообразовательных процессов и развития торфяных месторождений. Проведен анализ гистограмм распределения указанных характеристик для трех областей (Витебской, Минской, Гомельской). По обобщенным данным построены графики тенденций изменения исследованных показателей в диапазоне 52°–56° северной широты. Выявлены общие тенденции и уровни изменений характеристик торфяных месторождений с изменением географической широты.

Ключевые слова: торфяной фонд; торфяное месторождение; средневзвешенное значение характеристики; гистограммы распределения; координаты северной широты.

Для цитирования. Лис Л. С. Изменение характеристик торфяных месторождений Республики Беларусь в зависимости от географической широты // Природопользование. – 2020. – № 1. – С. 108–114.

CHANGES IN THE CHARACTERISTICS OF PEAT DEPOSITS IN THE REPUBLIC OF BELARUS IN DEPENDENCE ON GEOGRAPHICAL LATITUDE

L. S. Lis

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

Abstract. The list of the main studied characteristics of peat fund is grounded, the methodic on the determination of their average weighted significance for the territory of an administrative area based on the analysis of the bar charts of the distribution of the characteristics of peculiar structure allowed to estimate them taking into account peat margin is proposed. For the analysis of the regularities of the change of accepted characteristics the direction north-south as the most changeable direction on the main determine factors of peat creating processes and the development of peat deposits is chosen. The analysis of the bar charts of pointed characteristics distribution for three regions (Vitebsk, Minsk and Gomel) allowed to determine the peculiarities of the changes of the indexes by studied regions is carried out. The graphs of the tendencies of the changes of studied indicators in the range of 52°–56° of northern latitude are created according to generalized data. Total tendencies and the levels the characteristic change of peat deposits with the change of geographical latitude are distinguished.

Keywords: peat fund; peat deposit; average weighted significance; the bar charts of distribution; coordinates of the northern width.

For citation. Lis L. S. Changes in the characteristics of peat deposits in the Republic of Belarus in dependence on geographical zoning. *Nature Management*, 2020, no. 1, pp. 108–114.

Введение. Республика Беларусь щедро наделена торфяными ресурсами, которые соответствующим образом распределены на всей ее территории. Большое разнообразие типов и видов торфа, широкие интервалы значений его характеристик обеспечивают очень обширный спектр направлений практического использования. При решении таких вопросов возникают задачи по выбору сырьевых баз из имеющегося торфяного фонда для различных производств по перера-

ботке торфяного сырья. Эти базы должны, как правило, содержать сырье определенного качества, т. е. соответствовать определенным характеристикам торфа. В качестве характеристик сырья выступают: тип торфа, степень разложения, зольность, групповой состав, состав минеральной части, агрохимические свойства и др. Осознанный выбор таких объектов (баз) должен быть основан на знании закономерностей распределения важнейших характеристик торфяных ресурсов по территории республики. В качестве территориальной единицы, для которой решается поставленная задача, предполагается также широкий выбор: область, административный район, определенный регион и т. п. При этом обязательное условие: наличие статистических данных по выбранным характеристикам для рассматриваемых территорий.

Цели и задачи. Цель работы – выявить тенденции изменения важнейших характеристик торфяного фонда административных областей Беларуси в широтном направлении, в котором обеспечиваются максимальные изменения геоморфологических и гидроклиматических условий, как важнейших природных факторов, определяющих процессы торфообразования и развития торфяных месторождений. Это направление для нашей республики заключено в географических координатах 52°–56° северной широты.

Методы исследования. Первоначальной задачей в решении поставленной цели является определение средних (средневзвешенных) характеристик торфа на определенных территориях. Решение задачи на данном этапе мы связали с территориальной единицей – областью.

Определение средневзвешенных значений характеристик торфа административных областей возможно с помощью гистограмм распределения, которые являются графическим представлением вероятностей (частот) значений исследуемой характеристики как случайной величины. Однако используемая в этом случае гистограмма в некотором плане отличается от таковых традиционного вида. Особенность гистограммы состоит в том, что в ней по вертикальной оси (ось абсцисс) следует разместить величину запасов торфа, а по горизонтальной оси (ось ординат) – изучаемую характеристику. Такого вида гистограмма строится обычно принятым способом (с использованием программного продукта Microsoft Office Excel). Обе принятые статистики показателей разбиваются на интервалы, причем статистика запасов торфа разбивается на 3–5 интервалов, статистика изучаемого параметра, как правило, на большее число интервалов – 7–9. Все интервалы принимаются равномерными, но возможно выделение отдельных из них в зависимости от поставленных целей при исследовании. Например, если среди равномерных интервалов интерес представляет более узкий, то его можно выделить для получения его вклада в общей зависимости [1].

Отметим, что именно такое представление гистограммы распределения обеспечивает представительство и учет в изучаемых характеристиках именно запасов торфа. При этом такой подход обеспечивает статистический охват всей территории выбранной единицы.

На рис. 1 на примере Витебской области представлены гистограммы распределения торфяного фонда [1].

Результаты. Произведен обобщенный анализ гистограмм трех областей, выбранных на направлении север–юг республики, предварительно рассчитав по ним средневзвешенные по запасам в этих областях выбранные характеристики торфа. Дополнительно к основным характеристикам нами рассмотрен такой показатель, как доля в торфяном фонде областей торфяных месторождений различной площади: малых (до 100 га), средних (до 500 га) и больших (более 1000 га). Для расчета воспользуемся суммой произведений средних значений каждого интервала исследуемой характеристики на идентифицированный коэффициент по запасам, соизмеримый с соотношением этих запасов по всем интервалам, при этом итоговую сумму произведений необходимо разделить на сумму таких идентифицированных коэффициентов. В качестве примера произведен расчет средневзвешенной характеристики зольности для Витебской области предложенным методом (рис. 1):

$$A^c = \frac{7,5 \cdot 1,73 + 11 \cdot 1,32 + 16 \cdot 1,83 + 22,5 \cdot 0,34 + 30 \cdot 0,37}{1,73 + 1,32 + 1,83 + 0,34 + 0,37} = \frac{75,525}{5,59} = 13,5 \text{ %.}$$

Таким же образом выполнен расчет остальных исследуемых характеристик торфяного фонда всех областей, что приведено в таблице, в которой полученные значения исследуемых параметров отнесены к условному центру области, визуально определенному с помощью картографических материалов.

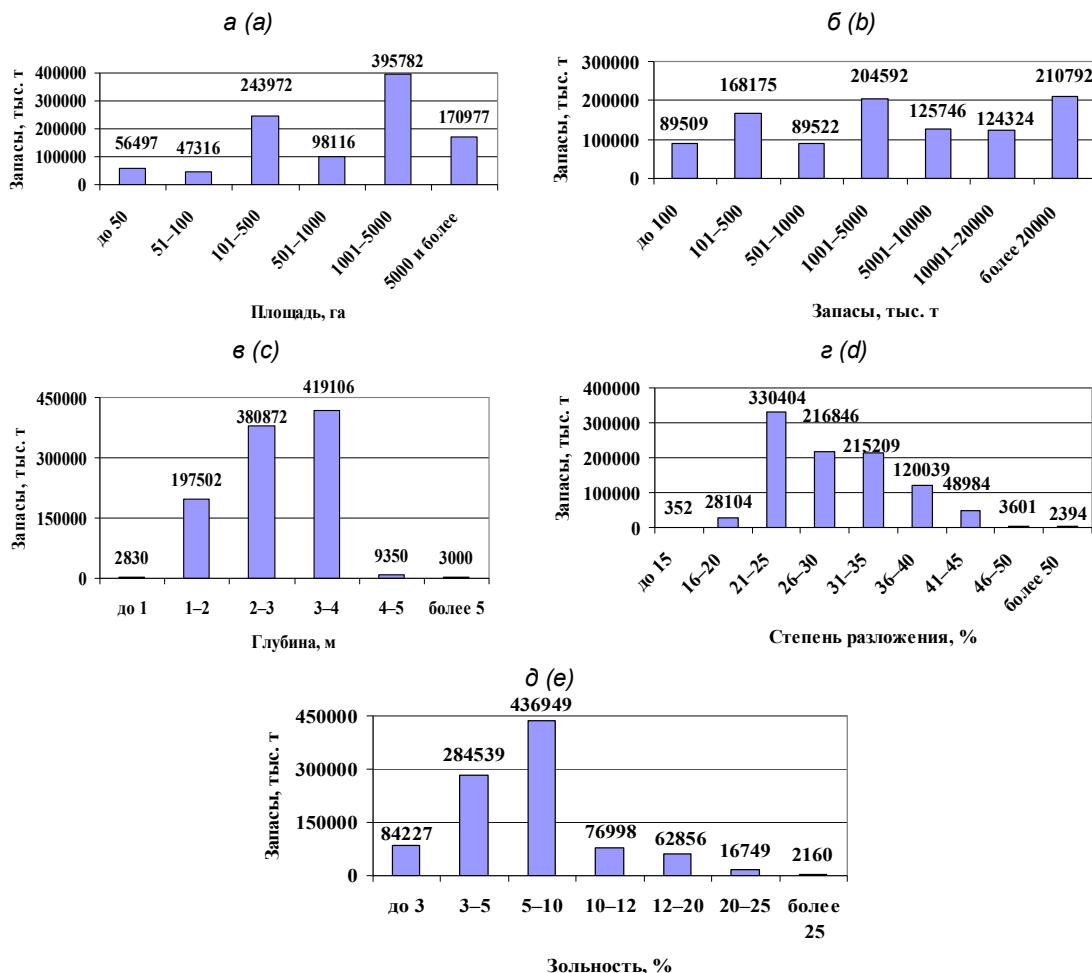


Рис. 1. Гистограммы распределения торфяного фонда Витебской области по площади (а), запасам (б), глубине (в), степени разложения (г) и зольности (д)

Fig. 1. The bar charts of the peat fund distribution of Vitebsk region by area (a), deposits (b), depth (c), degree of decomposition (d) and ash content (e)

Расчетные средневзвешенные значения показателей торфяного фонда административных областей Республики Беларусь

Accounted average weighted significances of the peat fund indexes of the administrative regions of the Republic of Belarus

Область	Глубина торфа, h_{cp}	Степень разложения, R_{cp}	Зольность, A^c_{cp}	Доля торфяных месторождений территории по площади, га		
				до 100	до 500	> 1000
Брестская	1,85	36,0	11,60	2,5	12,8	78,1
Витебская	2,72	28,7	6,14	10,2	29,3	56,0
Гомельская	1,80	33,9	12,00	6,2	24,3	62,2
Гродненская	2,17	37,0	14,30	5,5	20,5	63,4
Минская	1,99	37,8	12,00	4,8	22,0	65,6
Могилевская	2,03	37,4	9,81	5,4	25,3	42,1

Продолжим анализ гистограмм выбранных областей.

Находящаяся на севере Витебская область общей площадью 40,1 тыс. км² относится к Белорусскому Поозерью. В геоморфологическом отношении здесь выделяется центральная низинно-равнинная часть, образованная Дисненской, Суражской и Луческой низменностями. Юг региона занят Верхнеберезинской низиной, а на его периферии проходит полоса моренных возвышенностей,

абсолютные высоты которых составляют от 30–50 м до 150 м. Северо-западная часть границы области окаймляется невысокими моренными грядами – Браславской грядой и Латгальской возвышенностью. Область отличается среди других наличием больших запасов верхового торфа, причем достаточно разведанных: детальной разведкой охвачено около 40 %. Здесь имеются значительные запасы верхового торфа как низкой, так и высокой степени разложения, причем суммарные запасы этих категорий составляют 31,2 млн и 39,1 млн т соответственно. Запасы низинного торфа представлены более высокозольными торфами. По площади торфяные месторождения распределены следующим образом: залежей малой площади (до 100 га) – 10,2 %, средней (до 500 га) – 34,3 и большой (более 1000 га) – 56 %. Распределение торфа по запасам не слишком контрастное: относительно невысокие максимумы выделяются для запасов в 100–500 тыс. т – 16,6 %, 1000–5000 тыс. т – 20,2 и более 20 000 тыс. т – 20,8 %. По глубине торфа в залежи контрастно выделяются глубины 2–3 м – 43,2 % фонда и 3–4 м – 31 %.

Степень разложения торфа торфяных месторождений области распределена по нормальному закону со смещением, причем максимальное значение приходится на диапазон $R = 21\text{--}25 \%$. Большие запасы приходятся также на диапазон $R = 26\text{--}35 \%$ – 42,7 % всего фонда.

Распределение зольности всего торфяного запаса достаточно близко кциальному закону. Максимальное значение этого показателя приходится на диапазон $A^c = 5\text{--}10 \%$ – это 43,1 %, велика доля низкой зольности (до 3 %) – 8,3 %.

В занимающей центральное положение Минской области геоморфологические условия довольно контрастные, здесь имеет место многократное чередование возвышенностей с участками равнин и низменностей. Центральную часть области занимает Минская краевая ледниковая возвышенность, которая является водоразделом бассейнов Черного и Балтийского морей. Северная часть региона включает в себя особенности Поозерья, южная – равнин и низин Предполесья и Полесья. Такое многообразие геоморфологических условий и рельефа поверхности обусловило развитие как крупных торфяных месторождений, образовавшихся в поймах рек, так и мелких – на террасах, в котловинах, во впадинах и понижениях. Богатое водоминеральное питание обусловило в большей степени эвтрофную стадию формирования залежей. В рельефе этой области следует отметить наличие таких важных для торфообразования элементов, как поймы рек, котловины, террасы, впадины, что обусловило развитие в регионе разнообразных торфяных залежей, как глубокозалежных, так и мелкозалежных, причем первые чаще отмечаются в северной и центральной частях области, а последнее – в южной.

Площадное распределение торфяных месторождений характеризуется следующим образом: объектов с площадью до 100 га – 4,8 %, до 500 га – 22,0, более 1000 га – 54,7 %.

Запасы торфа имеют двухвершинный характер распределения: максимумы приходятся на интервалы запасов $Q = 1000\text{--}5000$ тыс. т – 25,7 % и $Q > 20 000$ тыс. т – 27,4 %. Распределение торфа по глубинам в залежи: резко выделяют два максимума, которые приходятся на глубину 1–2 м – 47,4 % запасов и глубину 2–3 м – 44,8 %.

Степень разложения и зольность в области с высокой вероятностью подчиняютсяциальному закону распределения. При этом максимум степени разложения приходится на диапазон $R = 36\text{--}40 \%$, что в значительной степени благоприятствует топливному направлению использования этих запасов. Достаточно большие запасы торфа по зольности находятся в диапазонах $A^c = 5\text{--}10 \%$ – 20,2 %, а также в диапазоне $A^c = 10\text{--}20 \%$ – 58,9 %.

В Гомельской области, расположенной на юго-востоке республики, преобладает низинный рельеф. Геоморфология региона включает две градации: низины и равнины Предполесья и Полесскую низменность. Долины основных рек – Днепра и Припяти, а также их многочисленных притоков хорошо разработаны, на их краевых бортах широко развиты овраги, понижения и балки. Слоны водно-ледниковых равнин часто расчленены системой более мелких ложбин небольшой протяженности. Здесь встречается и холмисто-грядовой рельеф с термокарстовыми западинами. Разнообразие рельефа способствовало распределению пойменных и водораздельных залежей различной площади, встречаются также залежи староречий с большими слоями верхового малоразложившегося торфа.

Для торфяного фонда области характерно относительно равномерное наращивание площади месторождений при увеличении их запасов. Так, месторождения площадью до 100 га занимают 6,2 %, до 1000 га – 62,6 %. Запасы торфа области распределены по двухвершинному характеру – один из них приходится на диапазон запасов $Q = 1000\text{--}5000$ тыс. т (66,1 %) и второй – $Q > 20 000$ тыс. т – (36,7 %). Наибольший объем запасов торфа имеют торфяные месторождения с глубиной торфа в залежи 1–2 м, они составляют 66,3 % всего фонда. Степень разложения торфа региона распределена поциальному закону, максимум приходится на интервал $R = 31\text{--}35\%$ – 35,5 % фонда области, высока также доля интервалов $R = 26\text{--}30 \%$ – 25,2 % и $R = 36\text{--}40 \%$ – 21,8 %. Зольность торфа представлена двухвершинным распределением, первая из которых относится к интервалу $A^c = 5\text{--}10 \%$ и охватывает запасы – 28,5 %, вторая относится к интервалу $A^c = 12\text{--}20 \%$ – 36,2 % запасов.

Проведенный анализ общего состояния торфяного фонда выбранных областей и тенденций распределения его основных характеристик позволяет выполнить их сравнительный анализ. Следует отметить, что наибольшая доля мелких и средних по площади месторождений торфа приходится на

Витебскую область, т. е. северную часть республики. Наиболее крупные по площади залежи отмечаются в Гомельской области, они охватывают более 40 % запасов торфа.

Максимальные глубины торфа наблюдаются в Витебской области ($h = 3\text{--}4 \text{ м}$), они содержат 41,1 % всех запасов, здесь велика доля запасов с глубинами 2–3 м – 19,4 %. В Гомельской области максимальная глубина отмечается для интервала $h = 1\text{--}2 \text{ м}$, такие залежи составляют более половины запасов (66,0 %). Среднее положение по рассматриваемому показателю принадлежит Минской области, здесь почти все запасы (92,0 %) находятся при глубинах 1–2 и 2–3 м.

Максимальные значения степени разложения отмечаются для Минской ($R = 36\text{--}40 \%$) и Гомельской ($R = 31\text{--}35 \%$) областей. Доли запасов торфа для этих значений различаются незначительно: в Минской – 30 %, в Гомельской – 36 %. В Витебской области максимальная степень разложения составляет $R = 21\text{--}25 \%$, которая характерна для 32,6 % запасов, остальные распределены на более повышенных интервалах значений этого показателя. В Гомельской области оставшиеся запасы торфа распределены на пониженный ($R = 26\text{--}30 \%$) и повышенный ($R = 36\text{--}40 \%$) интервалы степени разложения.

Максимальное значение зольности отмечено для Минской области ($A^c = 12\text{--}20 \%$), причем близки запасы торфа и для соседствующих интервалов $A^c = 5\text{--}10 \%$ и $A^c = 10\text{--}12 \%$. Такой же максимум ($A^c = 12\text{--}20 \%$) принадлежит и Гомельской области. Максимальные же значения зольности отмечаются в Витебской области ($A^c = 5\text{--}10 \%$), при этом здесь значительные запасы торфа характеризуются низкими значениями этого показателя: $A^c = 3\text{--}5\% – 28 \%$ запасов и $A^c \leq 3\% – 8,3 \%$.

С учетом полученных результатов анализа гистограмм распределения основных усредненных характеристик торфяного фонда всех областей республики построены графики зависимости изменений этих характеристик от координат северной широты территории (рис. 2 и 3) [2]. Значения рассчитанных характеристик торфяного фонда областей отнесены к их центрам, определенным визуально по картографическим материалам [2].

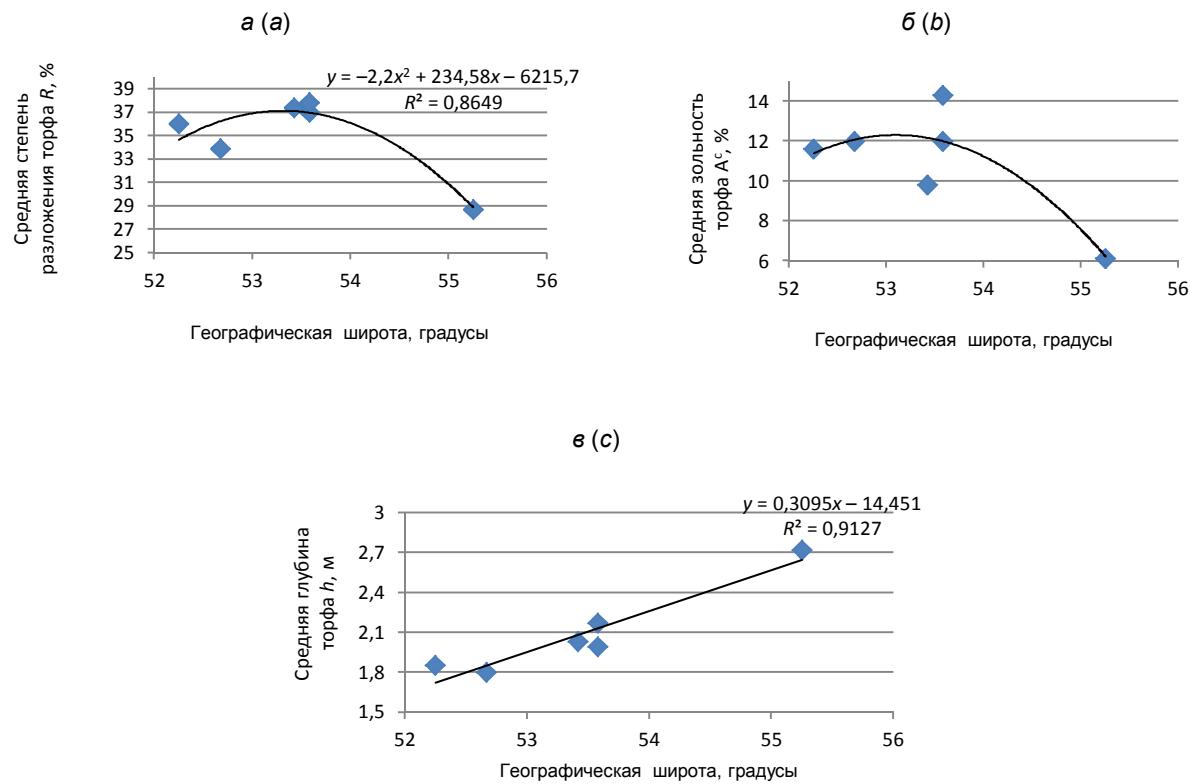


Рис. 2. Зависимость характеристик торфа республики от географической широты:
а – степени разложения; б – зольности; в – глубины торфа

Fig. 2. Dependence of the peat characteristics of the Republic on geographical latitude:
a – degree of decomposition; b – ash content; c – peat depth

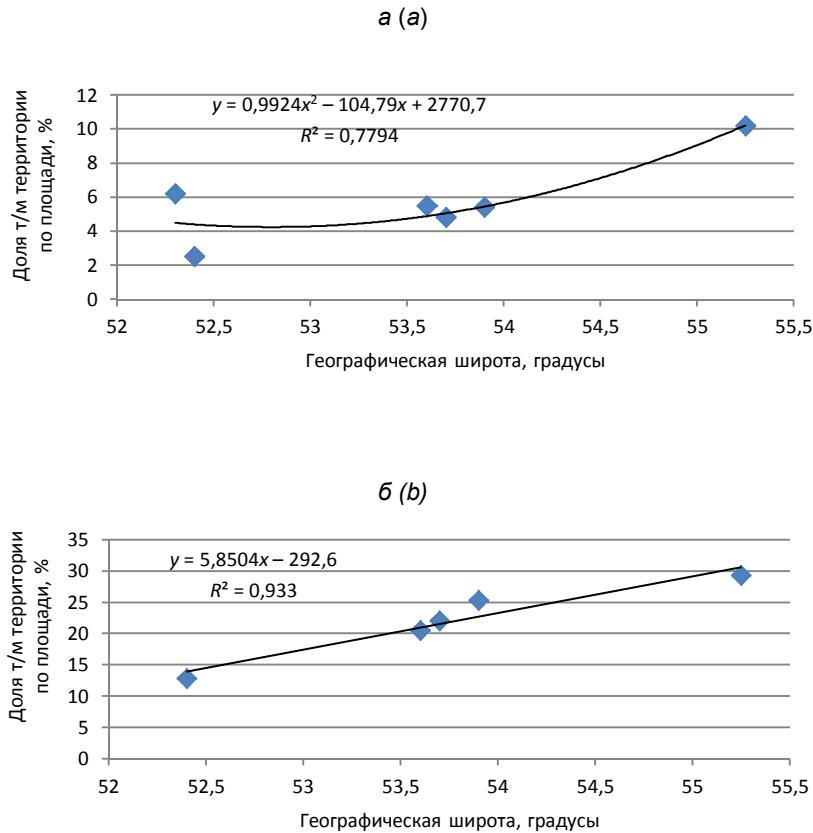


Рис. 3. Зависимость среднеобластных значений доли торфяных месторождений по площади от географической широты: а – малых по площади (до 100 га); б – средних (до 500 га)

Fig. 3. Dependence of the change of the average area values of peat deposits share by area on geographical latitude: a – small on area (to 100 ha); b – average (to 500 ha)

В первую очередь отметим, что приведенные графики представительно отражают тенденции изменений исследуемых характеристик торфяного фонда республики в направлении север–юг, причем с различным характером и различными темпами, о чем свидетельствуют высокие значения корреляционных отношений. Если для южного региона в интервале географической широты 52°–53,5° для характеристик степень разложения и зольность торфа можно констатировать незначительное повышение их значений, то после этого интервала при движении на север наблюдается резкое снижение значений обеих характеристик. Темпы отмеченного снижения различны: они составили для степени разложения 42 % на 1° северной широты и 32 % для зольности. Территориально это относится к северной части Минской области и полностью – к Витебской. Зависимость изменений глубины торфа залежей от координат местности линейна, темп ее в отличие от обсужденных характеристик возрастающий и составил порядка 17 % на 1° северной широты (рис. 2).

Что касается долей торфяных месторождений различной площади, то здесь тенденции изменений таковы: при движении с юга на север доля малых объектов возрастает, доли больших объектов существенно увеличиваются. Полученные результаты при движении в направлении запад–восток значительно выявляют определенные тенденции, но они в этом случае недостаточно выразительны.

Таким образом, при подборе торфяных месторождений в качестве сырьевых баз предприятий по добыче и переработке торфа необходимо руководствоваться следующими особенностями их широтного распределения: при подборе крупных по площади объектов следует обращаться к южным регионам республики, а вот большие значения запасов торфа можно выбрать в центральных частях, а также в северных за счет большей глубины торфа. Максимальные значения степени разложения торфа относятся к южным и центральным регионам республики, а минимальная зольность присуща в основном северной части территории.

Список используемых источников

1. Торфяные месторождения Республики Беларусь, пригодные для комплексного освоения на ближайшую и отдаленную перспективу. – Минск : Беларуская навука, 2013. – 114 с.
2. Национальны атлас Беларусі [Карты] / Камітэт па зямельных рэсурсах, геадэзі і картаграфіі пры Савеце Міністраў Рэспублікі Беларусь [складзены і падрыхтаваны да друку Рэспубліканскім унітарным прадпрыемствам «Белкартаграфія» ў 2000–2002 гг. ; гал. рэдкал.: М. У. Мясніковіч (старш.) [і інш.] ; уводзіны: Г. І. Кузняцоў, Р. А. Жмайдзяк ; мастак В. К. Зайцаў ; фотаздымкі В. І. Аleshki [і інш.]. – Мінск : Белкартаграфія, 2002. – 292 с.

References

1. *Torfyanye mestorozhdeniya Respubliki Belarus', prigodnye dlya kompleksnogo osvoeniya na blizhajshuyu i otdalennuyu perspektivu* [Peat deposits of the Republic of Belarus suitable for complex mastering for near and far prospective]. Minsk, 2013, 114 p. (in Russian)
2. *Nacyyanal'ny atlas Belarusi [Karty]* [National atlas of Belarus [Maps]. *Kamitet pa zyamel'nyh resursah, geadezii i kartagrafii pry Savece Ministrav Respubliki Belarus'* [Committee of land resources, geodesy and mapping at the Soviet of Ministers of the Republic of Belarus]. *Skladzeny i padryhtavany da druku Respublikanskim unitarnym pradpryemstvam "Belkartografiya"* ў 2000–2002 gg. [Composed and prepared to the edition by Republican unitary establishment 'Belkartography' in 2000–2002. Main ed. M. U. Myasnikovich (chief) [et al.]. Introduction G. I. Kuznyacou, R. A. Zhmodzyak. Master V. K. Zajcau. Photos V. I. Aleshki [et al.]. Minsk, Belkartography Publ., 2002, 292 p. (in Belarussian)

Информация об авторе

Лис Леонид Сергеевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: Makarenko.IP@mail.ru

Information about the author

Leonid S. Lis – Ph. D. (Technical), Leading Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: Makarenko.IP@mail.ru

ГЕОЛОГИЯ. ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ GEOLOGY. MINERALS

УДК 551.4.07(476.2)

Поступила в редакцию 21.03.2020

Received 21.03.2020

РЕЛЬЕФ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ В МУРАВИНСКОЕ МЕЖЛЕДНИКОВЬЕ

А. В. Матвеев

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. На основании анализа разрезов около 450 скважин, обобщения опубликованных материалов по особенностям строения четвертичных отложений реконструирован рельеф восточной части Белорусского Полесья в муравинское межледникование. Показано, что в современном и палеорельефе преобладают одни и те же генетические типы. Различия заключаются в глубинах расчленения поверхности, площадях распространения моренных, флювиогляциальных, озерно-аллювиальных и аллювиальных равнин (низин), приуроченности днепровских озерно-ледниковых, а также денудационных низин, сложенных дочертьеричными породами, только к межледниковому рельефу. Построенная палеогеоморфологическая схема может быть использована для восстановления ландшафтов муравинского возраста и выявления направленности развития природных комплексов в позднем плейстоцене и голоцене.

Ключевые слова: рельеф; картографирование; муравинское межледникование; орографическая зональность; генетическое разнообразие.

Для цитирования: Матвеев А. В. Рельеф земной поверхности восточной части Белорусского Полесья в муравинское межледникование // Природопользование. – 2020. – № 1. – С. 115–121.

EARTH'S SURFACE RELIEF IN THE EASTERN PART OF THE BELARUSIAN POLESIE AREA DURING THE MURAVIAN INTERGLACIAL

A. V. Matveyev

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

Summary. The results of an analysis of the rock sections from more than 450 boreholes and a summary review of the data of the peculiarities of the Quaternary deposit structure available from the literature were used to reconstruct the relief of eastern part of the Belarusian Polesie area during the Muravian Interglacial. It was demonstrated that the same genetic types dominate both in the present-day relief, and in the palaeorelief. The differences consist in the depths of the surface ruggedness, the areas of distribution of the morainic, fluvioglacial, lake-alluvial and alluvial plains (lowlands), and in the Dnieper lacustrine-glacial, as well as denudation lowlands built by pre-Quaternary rocks confined exclusively to the interglacial relief. The palaeogeographical schematic diagram was compiled and can be used to reconstruct the landscapes of the Muravian age and to reveal the trends of evolution of the natural complexes during the Late Pleistocene and Holocene.

Keywords: relief; cartography; Muravian Interglacial; orographic zoning; genetic diversity.

For citation: Matveyev A. V. Earth's surface relief in the eastern part of the Belarusian Polesie area during the Muravian Interglacial. *Nature Management*, 2020, no. 1, pp. 115–121.

Для выявления направленности развития современных природных условий на территории восточной части Белорусского Полесья в качестве возможного аналога этого процесса, как показали ранее выполненные исследования [1], можно использовать данные по муравинскому межледниканию, а в качестве базовой картографической модели, с помощью которой следует проводить реконструкции и сопоставление ландшафтов разного возраста, схему муравинского палеорельефа. Полученные результаты по особенностям этого рельефа приводятся в предлагаемой статье.

Для построения палеогеоморфологической схемы использовали разрезы около 450 скважин (рис. 1), пробуренных в разные годы государственным предприятием «НПЦ по геологии» и вскрывших муравинские и верхнепоозерско-голоценовые озерные, озерно-аллювиальные, аллювиальные и болотные отложения. Кроме того, были обобщены опубликованные материалы, характеризующие строение четвертичных толщи и рельефа Белорусского Полесья [2–8]. В результате проведенных работ установлено, что перекрывающая муравинский горизонт толща мощностью до 25 м представлена сложным переслаиванием тонких супесей, суглинков, реже глин, тонкомелкозернистых песков, торфа. Выделение кровли (поверхности) собственно муравинских отложений в случае изученности разрезов спорово-пыльцевым методом не вызывало сомнений. В большинстве же случаев этот уровень определялся по залеганию под озерной, озерно-аллювиальной и аллювиальной толщами хорошо диагностируемых ледниковых слоев либо принимался примерно посередине нерасчлененного муравинско-голоценового комплекса. Более подробно эта методика описана ранее [9]. Полученные результаты по восстановлению гипсометрического уровня и генезиса поверхности муравинских отложений позволили построить схему палеорельефа (рис. 2), особенности которого описаны ниже.

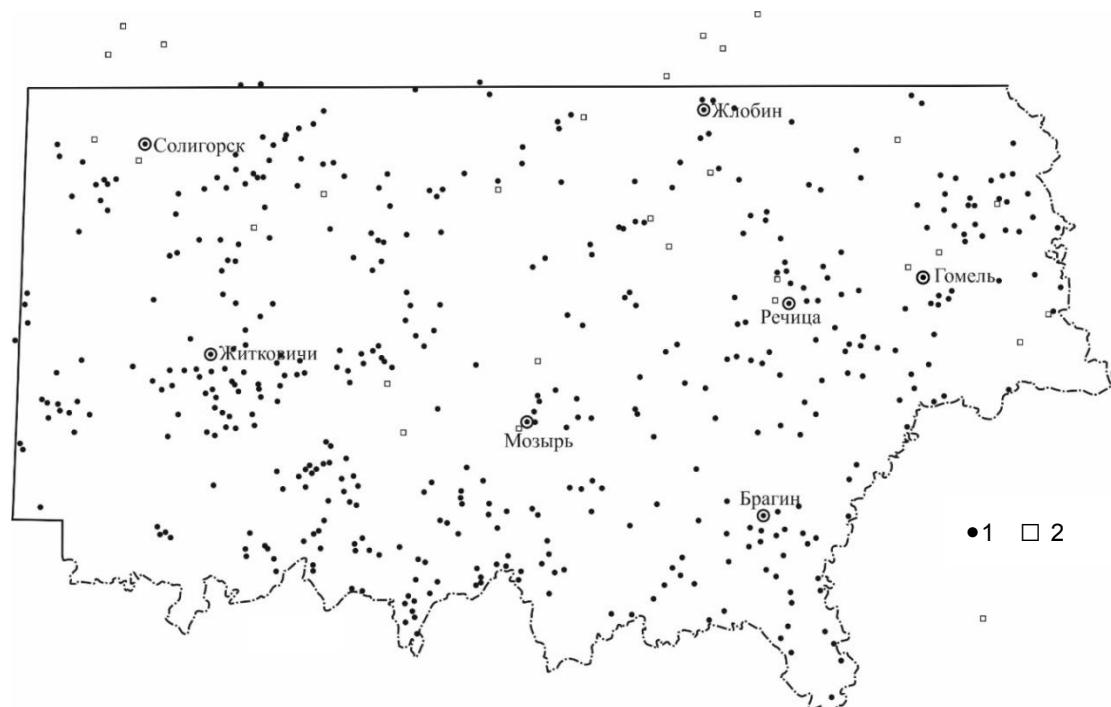


Рис. 1. Схема расположения скважин, разрезы которых использованы для построения палеогеоморфологической схемы. Скважины, вскрывшие муравинские и позднепоозерско-голоценовые отложения (1), разрезы, изученные спорово-пыльцевым методом (2)

Fig. 1. Location of the boreholes which sections were used to compile the palaeogeomorphological schematic diagram. Boreholes that penetrated into the Muravian and Late Poozerye – Holocene deposits (1), sections studied using the spore and pollen method (2)

Орография региона. Исследованная территория в муравинское время представляла собой в основном пониженную и заболоченную поверхность, преобладающие абсолютные высоты в пределах которой варьировали преимущественно в интервале 120–150 м, минимальные – тяготели к речным долинам и достигали в низовьях Припяти и в долине Днепра 90–100 м. В северной и южной частях региона высоты несколько повышались и составляли для равнинных участков 145–160 м. Максимальные же абсолютные отметки были приурочены к участкам распространения грядово-холмистого рельефа и достигали в северо-западной и северо-восточной частях исследованной территории 170–190 м, а в районе Мозырской возвышенности до 230–240 м. При этом следует особо подчеркнуть, что высота этого типа рельефа превышала современные значения не менее чем на 10–20 м, так как по выполненным ранее расчетам установлено, что после отступания ледниковых покровов сформировавшиеся в их краевой части формы были заметно понижены за счет проявления дельвиальных процессов [10].

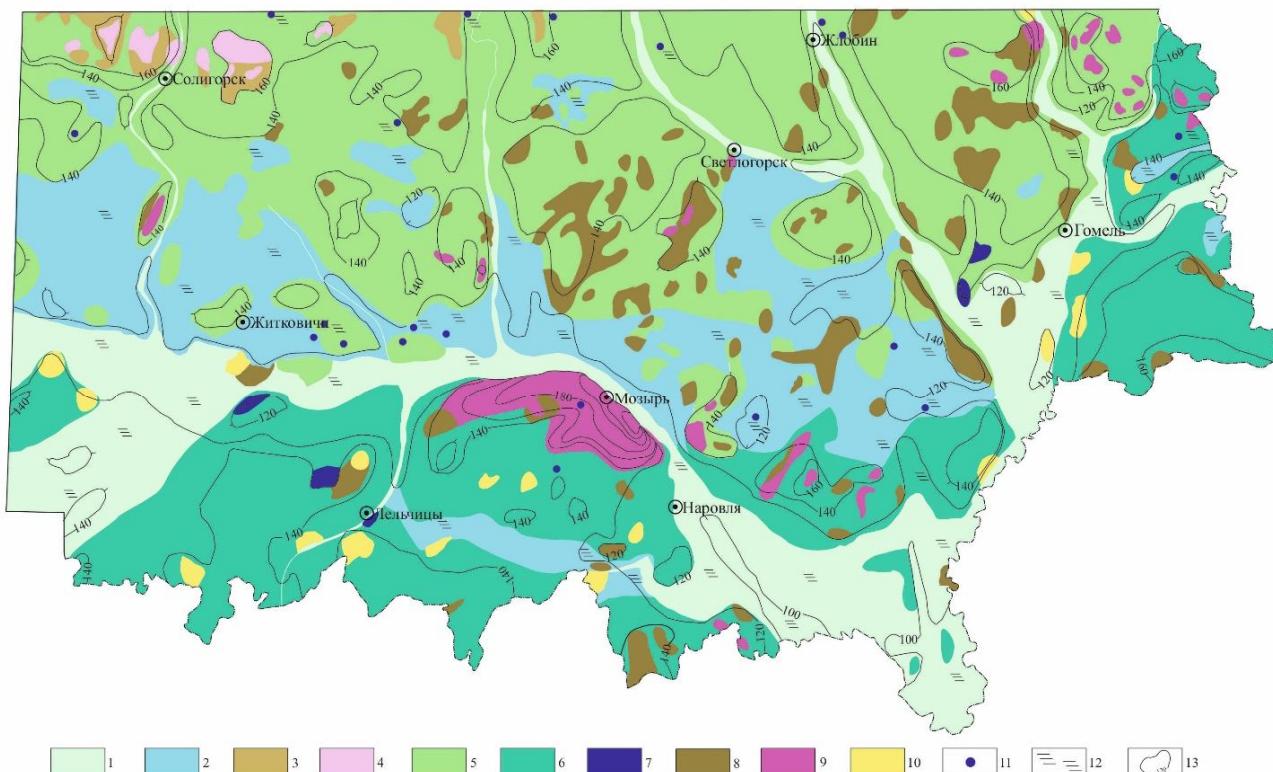


Рис. 2. Палеогеоморфологическая схема восточной части Белорусского Полесья (муравинское межледниковые): 1 – плоская аллювиальная низина муравинского возраста; 2 – плоская, местами полого-волнистая озерно-аллювиальная низина муравинского возраста; 3 – полого-волнистая, местами мелкохолмистая моренная равнина сожского возраста; 4 – грядово-холмистые краевые ледниковые образования сожского возраста; 5 – полого-волнистая, изредка мелкохолмистая флювиогляциальная равнина (низина) сожско-днепровского возраста; 6 – полого-волнистая флювиогляциальная равнина (низина) днепровского возраста; 7 – плоская озерно-ледниковая низина днепровского возраста; 8 – полого-волнистая, иногда мелкохолмистая и мелкоувалистая моренная равнина (низина) днепровского возраста; 9 – грядово-холмисто-увалистые краевые ледниковые образования днепровского возраста; 10 – останцы плоской дочетвертичной денудационной низины; 11 – котловины озер; 12 – заболоченность территории; 13 – изогипсы

Fig. 2. Palaeogeomorphological schematic diagram of the eastern part of the Belarusian Polesie area (Muravian Interglacial): 1 – flat alluvial lowland of the Muravian age; 2 – flat, sometimes, flat-undulated lake-alluvial lowland of the Muravian age; 3 – flat-undulated, sometimes, slightly hilly morainic plain of the Sozh age; 4 – ridged and hilly marginal glacial formations of the Sozh age; 5 – flat-undulated, rarely, slightly hilly fluvioglacial plain (lowland) of the Sozh-Dnieper age; 6 – flat-undulated fluvioglacial plain (lowland) of the Dnieper age; 7 – flat lake-glacial lowland of the Dnieper age; 8 – flat-undulated, sometimes, slightly hilly or ridged morainic plain (lowland) of the Dnieper age; 9 – ridged and hilly marginal glacial formations of the Dnieper age; 10 – residual rocks of a flat pre-Quaternary denudation lowland; 11 – lake basins; 12 – wetlands; 13 – isohypsies

Следовательно, общее колебание высот измерялось 150 м, а наибольшие их перепады тяготели к долинам рек, достигая в районе Мозырской возвышенности 135 м, на остальной территории основные водотоки были врезаны в коренные берега на 15–20 м, при пересечении холмисто-грядового рельефа в северо-восточной части региона и на локальных участках долин Пра-Птичи, Пра-Березины, Пра-Ипути – до 30–40 м.

Для сравнения отметим, что амплитуда высот современной земной поверхности составляет от 100–103 до 170–221 м [8], т. е. межледниковая поверхность в целом была более расчлененной. Это выражалось не только в величинах максимальных и минимальных абсолютных отметок, но и во врезе рек в коренные берега, в высотах краевого ледникового рельефа, превышавших современные на 10–20 м. Гипсометрические уровни залегания поверхностей другого генезиса в муравинское и современное время различались мало.

В целом в гипсометрии земной поверхности на изученной территории была выражена определенная субширотная зональность. В самой северной части четко прослеживалась полоса повышенного рельефа с отметками на равнинных участках до 150–160 м, а в западной и восточной частях в связи с распространением гряд и холмов этот показатель возрастал до 170–190 м. Южнее высоты понижались примерно по линии юго-западнее Солигорска – южнее Любани – северо-восточнее Октябрьского – низовье Пра-Березины – долина Пра-Днепра – совместная долина Пра-Днепра и Пра-Сожа и долина Пра-Ипути¹. В пределах этой полосы основной фон создавали фрагменты заболоченных низин с отметками ниже 140 м и заболоченные долины пра-рек с отметками менее 120–130 м.

Южнее по линии д. Большой Рожан Солигорского района – д. Милевичи Житковичского района – Копаткевичи – Василевичи – д. Первомайск Речицкого района – Лоев – Тереховка прослеживалась несколько приподнятая, но преимущественно выпуклая поверхность с высотами 135–165 м и единичными локальными участками грядово-холмистого рельефа с абсолютными отметками 160–180 м. Еще южнее выделялось четко выраженное понижение, по тальвегу которого простиралась субширотно-вытянутая долина Пра-Припяти (до Мозыря) с отметками ниже 120 м. Затем этот пониженный участок прослеживался по направлению Калинковичи – севернее Хойников – севернее Лоева. Заболоченная поверхность имела высоты 120–130 м, а встречавшиеся среди нее более приподнятые участки достигали 140 м.

Далее к югу высоты земной поверхности возрастали примерно по направлению д. Дзергинск Лельчицкого района – д. Симоновичи Лельчицкого района – Мозырь – Хойники – Лоев. Особенно четкой эта полоса поднятий была между Мозырем и Хойниками, где представлены грандиозные гряды, увалы и холмы высотой более 170 м, а в районе Мозыря – до 220–240 м. К западу и востоку от грядово-увалисто-холмистого рельефа поверхность выпадала и снижалась до 140–155 м. Южнее в направлении от Лельчиц на долину Пра-Словечны – совместную долину Пра-Припяти и Пра-Днепра абсолютные отметки заметно понижались в западной части до 120–130 м, а восточнее – ниже 120 м и даже ниже 100 м вдоль палеорусел Припяти и Днепра. И наконец, вдоль южной границы современной Беларуси установлено относительно невысокое поднятие рельефа с отметками 140–150 м. В пределах этой полосы заметно сокращалась заболоченность территории.

Генетическое разнообразие рельефа. В земной поверхности исследованного региона были представлены преимущественно аккумулятивные типы и формы рельефа, сформировавшиеся в муравинское время, унаследованные от предшествующих ледниковых этапов, а также денудационные поверхности, сложенные палеоген-неогеновыми, изредка меловыми породами.

К числу наиболее распространенных геоморфологических таксонов на схеме палеорельефа относятся следующие: останцы плоских дочетвертичных денудационных низин²; пологоволнистая, иногда мелкохолмистая и мелкоувалистая моренная равнина (низина), пологоволнистая флювиогляциальная равнина (низина), плоская озерно-ледниковая низина, грядово-холмисто-увалистые краевые ледниковые образования днепровского возраста; пологоволнистая изредка мелкохолмистая флювиогляциальная равнина (низина) сожско-днепровского возраста; пологоволнистая, местами мелкохолмистая моренная равнина, грядово-холмистые краевые ледниковые образования сожского возраста; плоская и пологоволнистая озерно-аллювиальная низина, плоская аллювиальная низина, котловины озер муравинского возраста. Рассмотрим некоторые особенности перечисленных типов рельефа.

Останцы денудационных низин, сложенные дочетвертичными породами, выделены в южной и восточной частях исследованного региона. Чаще всего они тяготели к склонам речных долин и озерно-аллювиальных низин и залегали на абсолютных высотах от 120 м до 150 м. Участки рассматриваемого рельефа редко простирались более чем на 20–30 км. Колебание относительных высот не превышало 1,0–1,5 м. С поверхности на этих низинах были распространены палеоген-неогеновые глины и пески, севернее Чечерска – мела мелового возраста. В современной земной поверхности подобный тип рельефа не выявлен.

Моренная равнина (низина) днепровского возраста чаще всего встречалась в междуречьях Пра-Птичи – Пра-Березины, Пра-Березины – Пра-Припяти, Пра-Березины и Пра-Сожа, где отдельные участки этого типа рельефа протягивались на 20–30 км, реже больше. Преобладающая полого-волнистая поверхность залегала на абсолютных высотах 135–165 м, реже до 170 м, а в районе Мозыря до 180 м. На участках вблизи краевых ледниковых образований она приобретала мелкохолмистый, иногда мелкоувалистый облик. Как правило, моренная равнина возвышалась на 5–10 м (иногда до 20 м) над поверхностью озерно-аллювиальных и аллювиальных низин и на

¹ Для того чтобы конкретизировать положение отдельных геоморфологических объектов, в статье условно используются названия существующих в настоящее время населенных пунктов и водотоков.

² В соответствии с работами [6, 11] под низиной понимается относительно выровненная поверхность, залегающая на отметках от 150 м и ниже, а под равниной – выше 150 м.

3–5 м – над флювиогляциальными равнинами (низинами). В целом площадь моренного рельефа в муравинское время была несколько большей, чем в настоящее время, особенно на территории северо-западнее Лельчиц, южнее Житковичей, восточнее Гомеля, юго-западнее Светлогорска. Перечисленные участки позднее были частично размыты и перекрыты аллювиальными и озерно-аллювиальными отложениями.

Флювиогляциальная равнина (низина) днепровского возраста выделена в южной части региона примерно южнее линии: долина Пра-Припяти (до Мозыря) – Хойники – севернее Лоева – Гомель – долина Пра-Беседи. Пологоволнистая поверхность этого типа с колебаниями относительных высот до 1–2 м и абсолютными отметками 120–160 м, в пойме Пра-Припяти 110–120 м на значительных участках была заболочена. Она возвышалась над аллювиальной и озерно-аллювиальной низинами на 3–5 м (до 15 м). Рассматриваемый тип рельефа в муравинское межледниковые было распространен на большей площади, чем в настоящее время. Самые значительные участки флювиогляциальной равнинны (низины), которые были впоследствии размыты деятельностью рек и озер, выделены к западу – юго-западу от Давид-Городка и в широкой полосе, проходящей через населенные пункты: д. Дзержинск и д. Тонеж Лельчицкого района – г. Петриков.

Озерно-ледниковая низина днепровского возраста выявлена всего на пяти небольших участках, прослеженных на 5–10 км восточнее и юго-восточнее Речицы, северо-западнее и юго-восточнее Лельчиц, южнее Житковичей в правобережном склоне долины Пра-Припяти. Их поверхность с колебаниями относительных высот до 1 м была заболочена и тяготела к абсолютным отметкам 120–130 м. В современном рельефе подобный генетический тип не выделяется.

Краевые ледниковые образования днепровского возраста представлены грядами, холмами и увалами, образующими верхний ярус рельефа всего Полесья с отметками 145–240 м, колебаниями относительных высот до 10–20 м и более, в районе Мозыря до 135 м и превышениями над урезами рек от 10–20 до 40 м. К краевым образованиям нередко приурочивались гляциодислокации, в которые вовлекались палеоген-неогеновые породы. Наиболее крупные площади краевого ледникового рельефа днепровского возраста приурочены к Мозырской возвышенности, простирающейся примерно с запада на восток почти на 65 км при ширине от 10 до 20 км. На остальной территории краевые ледниковые образования обычно протягивались всего на 5–20 км. Подавляющее их число было сосредоточено севернее долины Пра-Припяти, южнее выделено всего 2 фрагмента такого рельефа на границе с Украиной в юго-восточной части региона.

Флювиогляциальная равнина (низина) сожско-днепровского возраста – наиболее распространенный тип рельефа в муравинское межледниковые. Основные участки флювиогляциальных равнин (низин) выделены севернее описанной выше границы днепровских флювиогляциальных равнин (низин) и на этой территории занимали до 50 % всей площади. По сути дела здесь преобладал флювиогляциальный рельеф сожского времени, но среди него на некоторых повышенных участках встречались и формы аналогичного генезиса днепровского времени. Однако с учетом масштаба реконструкций распределения высот в муравинское время выделить подобные поднятия не представляется возможным. Поэтому на палеогеоморфологической схеме показано распространение нерасчлененной сожско-днепровской поверхности, которая располагалась в основном на абсолютных отметках 110–155 м и в целом была полого наклонена к югу, к долине Пра-Припяти. Максимальные высоты этого типа рельефа (более 150 м) тяготели к самой северной части региона работ примерно по линии Солигорск – Любань – Жлобин – Чечерск. Южнее отметки более 150 м встречались лишь на локальных участках на контакте с краевыми ледниковыми образованиями. Среди флювиогляциальной равнинны (низины) довольно часто были представлены слабо приподнятые участки моренной равнинны (низины) и фрагменты озерно-аллювиальных низин. Флювиогляциальная поверхность вблизи речных долин и на контакте с озерно-аллювиальными низинами заболочено. За счет распространения островов краевого ледникового, моренного и озерно-аллювиального рельефа колебания относительных высот могло возрастать до 3–7 м. В таких случаях земная поверхность на небольших участках приобретала мелкохолмистый облик.

Моренная равнина сожского возраста выделена на локальных участках в северо-западной части района работ. Абсолютные высоты варьировали в интервале 150–165 м, колебания относительных отметок обычно не превышали 1–2 м, редко достигали 5–6 м, и в таких случаях поверхность приобретала мелкохолмистый характер.

Краевые ледниковые образования сожского возраста установлены в крайней северо-западной части региона, в районе Солигорска и Любани. Абсолютные отметки земной поверхности превышали 155–160 м, а максимальные достигали 180–190 м, колебания относительных высот составляли до 10–15 м, над урезом воды в реках превышения – до 20–30 м. Довольно часто стоящие краевые образования отложения были заметно дислоцированы, иногда в дислокациях представлены отторженцы палеоген-неогеновых и меловых пород. По дистальной стороне краевого рельефа сожского возраста сейчас проводится граница максимального продвижения к югу ледникового покрова в сожское время.

Озерно-аллювиальная низина муравинского возраста являлась одним из наиболее распространенных типов рельефа, на который приходилось около 20 % площади региона. Основные участки этого рельефа сосредоточены севернее долины Пра-Припяти. Южнее более или менее крупный контур озерно-аллювиальной низины выделен только в полосе к востоку от Лельчиц длиной почти 35 км при ширине около 10 км.

Колебания относительных высот поверхности не превышали 1 м, абсолютные отметки составляли в основном 115–130 м, изредка до 140 м. Поверхность была интенсивно заболочена. Характерной особенностью наиболее крупных участков озерно-аллювиального рельефа являлось довольно частое распространение в его пределах островов флювиогляциальных и моренных низин, которые несколько повышали общую пересеченность рельефа и колебания относительных высот возрастали до 3–10 м. Контуры рассматриваемых низин по площади уступают современным почти на 30 %.

Аллювиальная низина муравинского возраста занимала около 15 % территории региона. Она тяготела к долинам крупных пра-рек (Припять, Днепр и Сож) и их притоков. Ширина долины Пра-Припяти составляла от 8–10 до 25–30 км, совместной долины с Пра-Стырью и Пра-Убортью – более 50 км, с Пра-Днепром – до 75 км. Совместная долина Пра-Днепра и Пра-Сожа – до 30 км. Долины остальных водотоков имели ширину до 3–10 км. Поверхность аллювиальных низин залегала чаще всего на абсолютных отметках ниже 120 м, в крайнем юго-восточном участке региона – ниже 100 м, а в северной и в северо-восточной части – до 130–140 м. Колебания относительных высот – преимущественно до 1–2 м, при наличии береговых валов – до 3–5 м. Аллювиальная низина интенсивно заболочена. На отдельных участках среди аллювия выделялись останцы флювиогляциальных, моренных поверхностей, реже денудационных низин, сложенных дочетвертичными породами. При наличии таких останцов колебания относительных высот возрастали до 5–7 м. Врез речных долин в коренные берега варьировал от 5–10 м при пересечении озерно-аллювиальных поверхностей до 5–15 м на территории останцов денудационных низин, флювиогляциальных и озерно-ледниковых низин и до 5–20 м среди моренных равнин и низин. Если речные артерии расчленяли участки краевых ледниковых комплексов, врезы могли измеряться десятками метров, а в районе Мозырской возвышенности более 100 м.

В настоящее время аналогичные по генезису поверхности значительно превышают площадь муравинских низин, что произошло за счет размытия преимущественно флювиогляциальных и некоторых других отложений в позднепоозерско-голоценовое время.

На изученной территории по данным разрезов буровых скважин выделена 21 котловина озер муравинского возраста. Чаще всего они тяготели к озерно-аллювиальным и флювиогляциальным низинам. Параметры существовавших водоемов точно установить затруднительно, так как озерные осадки, как правило, вскрыты единичными скважинами. Однако, учитывая, что озерные отложения содержали прослой тонких супесей, суглинков, глин, можно предположить, что их глубины были не менее 10–20 м, а ширина достигала 1–3 км. В районе к западу – северо-западу и к северо-востоку от Петрикова выделены два участка распространения водоемов, отстоявших друг от друга на небольшие расстояния, а кровля озерных отложений имеет близкие абсолютные высоты 128–130 и 118–121 м. Поэтому, возможно, на этой территории существовало 2 крупных водоема, имевших в попечнике до 15 км.

Подводя итог приведенной характеристике выделенных на палеогеоморфологической схеме типов рельефа, следует особо подчеркнуть, что несмотря на несколько меньшую детальность контуров рельефа, по сравнению с современной геоморфологической картой, в целом построенная схема является вполне кондиционной основой для реконструкции общего облика земной поверхности, а с учетом результатов палинологических исследований может быть использована для восстановления ландшафтов муравинского межледникового.

Выводы

1. В геоморфологическом строении территории восточной части Белорусского Полесья в муравинское межледниковые преобладали те же генетические типы, что и в настоящее время, хотя существовали и некоторые различия облика земной поверхности.

2. В межледниковом рельефе относительно большие площади занимали флювиогляциальные и моренные поверхности, а в современном – аллювиальные и озерно-аллювиальные.

3. Только в земной поверхности межледникового этапа выделены участки днепровских озерно-ледниковых и денудационных низин, сложенных дочетвертичными породами. В отличие от этого исключительно в современном рельефе, изученном значительно детальнее, установлены формы эолового, гравитационного и эрозионного (временных водотоков) генезиса.

4. Различается палео- и современный рельеф по более высокой степени расчлененности в муравинское время, по высоте краевых ледниковых образований, которая в межледниковые на 10–20 м превышала современную, по глубине вреза рек, которая достигала абсолютных отметок 90–135 м в муравинское и 100–103 м в голоценовое время.

5. Построенная схема палеорельефа муравинского межледникового может служить основой для реконструкции палеоландшафтов и для выявления направленности развития природных комплексов в позднеплейстоцен-голоценовое время.

Список использованных источников

- Матвеев, А. В. Ландшафты западной части Белорусского Полесья в климатическом оптимуме муравинского межледникового / А. В. Матвеев, Т. Б. Рылова // Природопользование. – 2018. – № 2. – С. 83–89.
- Матвеев, А. В. История формирования рельефа Белоруссии / А. В. Матвеев. – Минск, 1990. – 144 с.
- Палеогеография кайнозоя Беларуси / под ред. А. В. Матвеева. – Минск, 2002. – 164 с.
- Горецкий, Г. И. Аллювиальная летопись великого Пра-Днепра / Г. И. Горецкий. – М., 1970. – 492 с.
- Рельеф Белорусского Полесья / А. В. Матвеев [и др.]. – Минск, 1982. – 143 с.
- Крутоус, Э. А. Палеогеография антропогена Белорусского Полесья / Э. А. Крутоус. – Минск, 1990. – 143 с.
- Геамарфалагичная карта М 1 : 1 250 000 ; навук. рэд. А. В. Мацвеев // Нацыянальны атлас Беларусі. – Мінск, 2002. – С. 66–67.
- Матвеев, А. В. Рельеф Белоруссии / А. В. Матвеев, Б. Н. Гурский, Р. И. Левицкая. – Минск, 1988. – 320 с.
- Матвеев, А. В. Палеогеоморфологическая схема территории западной части Белорусского Полесья (муравинское межледниково) / А. В. Матвеев, В. П. Зерницкая // Літасфера. – 2018. – № 1 (48). – С. 4–11.
- Матвеев, А. В. Денудационный срез краевых возвышенностей Белоруссии / А. В. Матвеев // Морфогенез на территории Белоруссии. – Минск, 1983. – С. 81–87.

References

- Matveev A. V., Rylova T. B. *Landshafty zapadnoy chasti Belorusskogo Poles'ya v klimaticheskem optimume muravinskogo mezhlednikov'ya* [Landscapes of the western part of the Belarusian Polesie in the climatic optimum of the Muravinsky interglacial]. *Prirodopol'zovanie* = Nature Management, 2018, no. 2, pp. 83–89. (in Russian)
- Matveev A. V. *Istoriya formirovaniya rel'efa Belorussii* [The history of the formation of the relief of Belarus]. Minsk, 1990, 144 p. (In Russian).
- Paleogeografiya kajnozooya Belarusi. Pod red. A. V. Matveeva* [Paleogeography of the Cenozoic of Belarus ; by ed. A. V. Matveyev]. Minsk, 2002, 164 p. (in Russian).
- Goreckij G. I. *Allyuvial'naya letopis' velikogo Pra-Dnepra* [Alluvial annals of the great Pra-Dnieper]. M., 1970, 492 p. (in Russian).
- Matveev A. V. i dr. *Rel'ef Belorusskogo Poles'ya* [Relief of the Belarusian Polesie]. Minsk, 1982, 143 p. (in Russian).
- Krutous E. A. *Paleogeografiya antropogena Belorusskogo Poles'ya* [Paleogeography of the anthropogen of Belarusian Polesie]. Minsk, 1990, 143 p. (In Russian).
- Geamarfalagichnaya karta M 1 : 1 250 000. Navukovy redaktar A. V. Macveev [Geomorphological map M 1 : 1 250 000 ; by ed. A. V. Matveyev]. Nacyyanal'ny atlas Belarusi = National atlas of Belarus. Minsk, 2002, pp. 66–67 (in Belorussian).
- Matveev A. V., Gurskij B. N., Levickaya R. I. *Rel'ef Belorussii* [Relief of Belarus]. Minsk, 1988, 320 p. (in Russian).
- Matveev A. V., Zernickaya V. P. *Paleogeomorfologicheskaya skhema territorii zapadnoj chasti Belorusskogo Poles'ya (muravinskoe mezhlednikov'e)* [Paleogeomorphological scheme of the territory of the western part of Belarusian Polesie (Muravinsky interglacial)]. *Litasfera* = Lithosphere, 2018, no. 1 (48), pp. 4–11. (in Russian)
- Matveev A. V. *Denudacionnyj srez kraevyh vozvyshennostej Belorussii* [Denudation section of the marginal elevations of Belarus]. *Morfogenez na territorii Belorussii* = Morphogenesis on the territory of Belarus. Minsk, 1983, pp. 81–87. (in Russian)

Информация об авторе

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

Information about the author

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

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

УДК 504.054:54+504.06.631.438.556.306

Поступила в редакцию 21.05.2020

Received 21.05.2020

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ
ПРИРОДНЫХ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

И. И. Лиштван, Г. П. Бровка, В. М. Дударчик, В. М. Крайко, Ю. Г. Янута

Institut prirodopopolzovaniia NAN Belarusi, Minsk, Belarus

Аннотация. Приводятся основные научные результаты, полученные в лаборатории физико-химической механики природных дисперсных систем и научном Центре по торфу и сапропелю, по повышению эффективности и экологической безопасности геотехнологий на основе учета физико-химических явлений, структурообразования и взаимосвязанных процессов тепло- и массопереноса в природных дисперсных системах (горные породы, торф, сапропели, гуминовые соединения, отдельные виды биомассы), отличающиеся коллоидно-высокомолекулярным строением дисперской фазы, часто без резкой фазовой разграничиченности и наличием различных по энергии форм связи влаги с твердой фазой и фазовых переходов воды в лед в промерзающих дисперсных средах.

Ключевые слова: торф; сапропель; горные породы; горючие сланцы; гуминовые соединения; тепло- и массоперенос; активированные угли.

Для цитирования. Лиштван И. И., Бровка Г. П., Дударчик В. М., Крайко В. М., Янута Ю. Г. Физико-химические и теплофизические основы рационального использования и глубокой переработки природных дисперсных материалов // Природопользование. – 2020. – № 1. – С. 122–131.

**PHYSICAL AND CHEMICAL MECHANICS OF NATURE DISPERSE SYSTEMS
AS THE BASIS OF ITS DEEP PROCEEDING**

I. I. Lishtvan, G. P. Brovka, V. M. Dydarchik, V. M. Kraiko, Yu. G. Yanuta

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

Abstract. The basic scientific results obtained in the laboratory of physical and chemical mechanics of nature disperse systems and scientific Center on peat and sapropel, on the increase of the effectiveness and ecological safety of geotechnologies on the base of the accounting of physical and chemical events, structure creation and the interconnected processes of heat and mass transfer in nature disperse systems (rocks, peat, sapropels, humic conjunctions, separate types of biomass), different from the colloid and high-molecular structure of disperse phase, often without sharp phase demarcation and the presence of different on energy forms of moisture connection with solid phase and the phase transitions of water into ice in freeze disperse medias are given.

Keywords: peat; sapropel; rocks; combustible shales; humic conjunctions; heat and mass transfer; activated coals.

For citation. Lishtvan I. I., Brovka G. P., Dydarchik V. M., Kraiko V. M., Yanuta Yu. G. Physical and chemical mechanics of nature disperse systems as the basis of its deep proceeding. *Nature Management*, 2020, no. 1, pp. 122–131.

На территории Республики Беларусь сосредоточены значительные ресурсы торфа – около 4 млрд т, и сапропеля – 2,4 млрд т, представляющие научный и практический интерес для энергетики, сельского хозяйства, охраны окружающей среды, химической технологии, медицины, горного дела [1–3]. С физико-химической точки зрения – это природные дисперсные коллоидно-высокомолекулярные системы или слабые грунты, горючие породы, твердые горючие ископаемые, дис-

персная фаза которых представлена структурами разной компактности и сложности без резкой фазовой разграниченности и обладающей микромозаичной гетерогенностью по отношению к дисперсной среде (воде и воздуху).

В работе рассматриваются состав и свойства таких систем с использованием физических и физико-химических методов при различных температурах и в процессах их взаимодействия с реагентами, что позволило выявить и определить возможность их модификации для многих направлений использования.

Экспериментальные исследования теплофизических и деформационно-прочностных характеристик горных пород при отрицательных температурах выполнены применительно к расчету процессов их замораживания и оттаивания для обоснования проектов строительства калийных рудников. При этом установлено, что горные породы, особенно на больших глубинах, содержат значительное количество минеральных солей, понижающих температуру начала их замораживания. Наличие солей существенно влияет на свойство горных пород, что обосновывает необходимость дальнейших соответствующих теоретических и экспериментальных исследований, направленных на развитие физико-химической механики промерзающих дисперсных сред [1–5] и механизма фазовых переходов воды в лед, формирование напряженно-деформационного состояния и преобразования структуры в промерзающих дисперсных средах.

Теоретическое и экспериментальное обоснование технологических процессов восстановления солевых форм гуминовых веществ рассмотрено в качестве основы технологии получения новых многофункциональных экологобезопасных материалов для охраны окружающей среды, буровых работ и геотехнологий, требующих направленного регулирования структуры гуминовых веществ при переходе их из растворенного в порошкообразное состояние и наоборот [2, 6, 7]. Изучено влияние температуры, давления и сушки, а также степени разложения торфа на изменение его гидрофильтрости, в частности на поглощение ПАВ и эмульгированных нефтепродуктов [6].

Показано, что температура сушки при нормальном атмосферном давлении позволяет активно снижать гидрофильтрость торфяного сорбента при температуре не менее 85 °С и времени сушки более 160 мин. Увеличение температуры выше 120 °С позволяет получить сорбент эмульгированных нефтепродуктов с емкостью поглощения 0,8–1,2 г (нефтепродуктов)/г (сорбента). Дальнейшее увеличение температуры сушки возможно лишь в атмосфере углекислого газа. Применение таких условий позволяет повысить нефтеемкость по эмульгированным нефтепродуктам до 1,74 г (нефтепродуктов) / г (сорбента). Согласно результатам химического анализа (определения содержания кислородсодержащих функциональных групп), дифференциального термического анализа, ИК-спектроскопии, температура сушки более 108 °С приводит к дегидратации и частичному декарбоксилированию материала, т. е. к снижению гидрофильтрости системы.

Установлено, что сушка в разреженной атмосфере ведет к дегидратации сорбента уже при 75 °С, однако гидрофильтрость материала снижается обратимо, а нефтепоглощение материала при такой сушке не превышает 1,37 г (нефтепродуктов)/г (сорбента). Плавучесть сорбента существенно зависит от времени его контакта с водой и условий сушки.

Использование замораживания с последующим вакуумированием для получения нового материала проводили в среде жидкого азота, сухого льда и замораживания при –28 °С с последующим вакуумированием при 0,05 атм. Результаты исследования показали, что для такой обработки более предпочтительны сфагновые виды торфа со степенью разложения не более 25–30 %. При этом температура замораживания несущественно влияла на емкость поглощения материала. Установлено, что полученный сорбент проявляет высокую сорбционную емкость (до 1,45–1,2 г (нефтепродуктов)/г (сорбента)), однако обладает невысокой плавучестью, что требует дополнительной его обработки с целью снижения гидрофильтральных свойств. Установлено, что материал не обладает механической прочностью.

Изучено влияние ботанического состава, степени разложения торфа, содержания щелочи на реологические свойства буровых реагентов на основе торфа. Установлено, что влагоаккумулирующие свойства смеси торф : NaOH зависят как от степени разложения торфа, так и от их соотношения. Показано, что содержание щелочи в материале менее 14 % не приводит к существенному поглощению влаги. При увеличении содержания щелочи более 14 % происходит рост поглощения влаги. При содержании щелочи более 23 % на первом этапе происходит высокое влагопоглощение, с последующим появлением плесени при хранении.

Изучено влияние способа выделения гуминовых веществ на их поверхностно-активные свойства. Установлено, что гуминовые вещества, выделенные в щелочной среде, проявляют поверхностно-активные свойства только в щелочной среде. В кислой и нейтральной среде их поверхностная активность незначительна. Для фракций, выделенных в нейтральной и кислой среде, диапазон изменения поверхностно-активных свойств более широкий. Так, для фракций, выделенных в нейтральной

среде, поверхностная активность наблюдается как в щелочной, так и в нейтральной среде, а для фракций, выделенных в кислой среде, – в диапазоне рН до 2,0.

Впервые выполнено сравнение состава ингредиентов (торф, уголь) Республики Беларусь и Монголии с позиций свойств сырья для производства на их основе продукции нетопливного использования как наиболее востребованной рынком и в ценовом плане с наибольшей добавленной стоимостью: исследован групповой состав гуминового сырья, изучены структура, сорбционные (ионообменные) свойства гуминовых соединений, а также их солевых форм; обоснованы направления получения экологобезопасных гуминовых препаратов для целей мелиорации деградированных (пустынных) территорий, охраны окружающей среды (сорбентов ионов тяжелых металлов, нефтепродуктов и др.) [6].

Изучено влияние обратимости восстановления свойств гуминовых веществ в зависимости от температуры сушки (диапазон 40...105 °С). Установлено, что сушка при 105 °С приводит к необратимому изменению свойств гуминовых веществ. При этом существенное влияние на процесс оказывает катион. Исследованные катионы по росту восстанавливаемости свойств гуминовых веществ можно расположить в ряду $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{H}^+ > \text{NH}_4^+$.

Выявлено, что при переходе гуминовых веществ из растворенного в коллоидное состояние они сорбируют катионы тяжелых металлов (изучено на примере катионов меди), что обусловлено формированием агрегатов, которые при «старении» гуминовых веществ обладают более низкой сорбицией Cu^{2+} .

Исследование термохимических превращений смесевых композиций на основе торфа, горючих сланцев, растительных отходов и полимеров осуществляли с использованием установок стационарного пиролиза и шнековой подачи в реакционную зону. Анализ газообразных полученных продуктов пиролиза проводили на газоанализаторе ВИГ-2 с оценкой теплотворной способности расчетным методом. Твердые продукты пиролиза (кокс, полукуксы) анализировали по стандартным методикам с определением влажности, зольности, выходу летучих веществ, теплотворной способности. Установлено, что подбором бинарных смесей и технологических параметров пиролиза возможно максимально увеличить выход продуктов энергетической переработки [7–9].

Важное прикладное значение имеют научно-организационные работы по оценке освоения отдельных технологий, видов продукции и оборудования, разработанные в рамках ГПНИ «Природопользование и экология» (подпрограмма «Разработка методов повышения эффективности и экологической безопасности на основе учета физико-химических явлений и взаимосвязанных процессов тепло- и массопереноса в природных дисперсных средах (системах)». Здесь особо следует отметить работы для строящихся горно-химических комбинатов по производству калийных удобрений (Белнефтехим и другие ведомства) [2–5]. Установлено, что на основе выполненных работ по исследованию теплофизических и деформационно-прочностных характеристик при отрицательных температурах и расчетах процессов замораживания горных пород при обосновании проектов строительства калийных рудников, особенно важны материалы о содержании на больших глубинах минеральных солей, поникающих температуру начала замерзания воды в горных породах [3–5].

Рассматривая гуминовые вещества торфа, бурого угля, сапропелей как коллоидно-высокомолекулярные системы с практической точки зрения (при разработке методов восстановления и направленного регулирования структуры гуминовых веществ), при переходе их из растворенного в порошкообразное состояние и наоборот (при сушке-увлажнении), важно знать значения рН, температуру, порог структурообразования, реологические характеристики, при которых процессы модификации проходят быстро, наиболее полно и позволяют восстанавливать гидрофильные свойства сухих гуминовых веществ. На изучении переходных процессов в гуминовых веществах основаны методы их использования при тушении пожаров и получении новых материалов для дорожного строительства и охраны окружающей среды (социальная значимость) [2, 6–11].

Постоянное удорожание импортируемых энергоносителей требует вовлечения в топливно-энергетический баланс республики местных твердых горючих ископаемых, а также растительных и других горючих материалов и отходов (ГПО «Белтопгаз»). Смесевые топлива постепенно находят применение как коммунальное бытовое топливо, в цементной промышленности, при производстве стекла и керамики [8].

На разработку научно-технического обоснования эффективной технологии глубокой комплексной переработки горючих сланцев Беларуси направлен отдельный проект научных исследований НАН Беларуси. Его целью является разработка термохимической технологии глубокой переработки горючих сланцев Беларуси с рентабельным и экологобезопасным получением сланцевой смолы, горючих газов, коксозольного остатка и направлений его утилизации (разрабатывается лабораторная установка) [2, 8, 9].

Задачи проекта призваны:

- проанализировать и обобщить способы термической переработки горючих сланцев;
- провести детальные термогравиметрические и калориметрические исследования образцов горючих сланцев для определения температур испарения и конденсации различных фракций сланцевой смолы, а также тепловых эффектов в различных режимах термообработки сланцев;
- разработать математические модели технологических схем термообработки горючих сланцев;
- создать лабораторные установки по исследованию процессов термопереработки горючих сланцев;
- провести лабораторные исследования по оценке эффективности термопереработки горючих сланцев с другими твердыми горючими ископаемыми (бурые угли, сапропели);
- создать опытную установку;
- сформировать исходные данные для проектирования опытно-промышленной установки комплексной переработки горючих сланцев с получением сланцевой смолы, горючих газов и коксозольного остатка.

К числу работ по освоению научных результатов выступают отдельные задания подпрограммы 01 «Рациональное природопользование и инновационные технологии глубокой переработки природных ресурсов», Государственной научно-технической программы «Разработка и освоение инновационных технологий комплексного использования и глубокой переработки природных ресурсов, определение предельных антропогенных нагрузок на хозяйственно значимые экосистемы. Природопользование и экологические риски» [10, 11].

Программа включает анализ мировых тенденций и состояние вопроса в Республике Беларусь по проблемам природопользования. Имеется обоснование необходимости разработки и внедрения предлагаемых новшеств [10].

Программа включает 20 заданий, согласованных с государственным заказчиком – НАН Беларуси, в том числе:

- «Выполнить оценку состава и свойств сырья перспективных для глубокой комплексной переработки торфяных месторождений и разработать номенклатурный перечень продукции, рекомендуемой к производству» (по торфяному месторождению «Славное» и торфяному месторождению «Есмановский мох»);
- «Выполнить комплекс мероприятий по отработке и освоению опытно-промышленной технологии получения активированных углей из кускового торфа»;
- «Выполнить анализ современного состояния торфяных месторождений на основе данных дистанционного зондирования Земли и разработать атлас торфяных месторождений Республики Беларусь».

Материалы дистанционного зондирования Земли позволяют уточнить площади и контуры как самих торфяных месторождений, так и их составных частей, размещенных на их территориях (выработанные участки торфяных месторождений; участки месторождений, используемых в сельском хозяйстве, в том числе по направлениям; месторождения, находящиеся в естественном состоянии и т. п.) Используются (и планируется расширение использования) материалы ДЗЗ на исследуемую территорию с различных спутниковых систем (БКА, Канопус, Landsat 8). Кроме зональных снимков перечисленных выше спутниковых систем используются и изображения, подготовленные на основе снимков высокого и сверхвысокого разрешения, доступных на геосервисах (Яндекс-карты, Google-Maps, Космоснимки, Bing).

По результатам работ будет впервые создан электронный атлас торфяных месторождений Республики Беларусь с оценкой их состояния и имеющихся запасов торфа, что позволит более эффективно использовать ресурсы торфа республики для направленного создания востребованной инновационной продукции [2, 10]. Экологическая эффективность выполняемой работы будет заключаться в определении (уточнении) местообитаний (биотопов) и растительности на торфяных месторождениях, требующих особой и (или) специальной охраны.

В настоящее время в Институте выполняется проект «Выполнить оценку состава и свойств сырья перспективных для глубокой комплексной переработки торфяных месторождений и разработать номенклатурный перечень продукции, рекомендуемой к производству». Интенсивное использование минерально-сырьевых ресурсов ведет к их истощению, причем в первую очередь наиболее качественного и доступного сырья.

Применительно к торфу как сырью следует отметить, что в последние годы разрабатываются и совершенствуются новые наукоемкие технологии с высокой добавочной стоимостью, что требует принятия мер для сохранения достаточных объемов качественного сырья. В связи с этим Президентом Республики Беларусь в 2007 г. подписан Указ, согласно которому создан резервный фонд из 14 месторождений торфа с предписанием использования сырья для целей комплексной биотер-

мохимической переработки торфа с получением целого ряда научноемкой продукции с высокой добавленной стоимостью [2]. В перспективе сырье из этого фонда будет востребовано для новых видов научноемких технологий, включая привлечение зарубежных инвестиций на основе концессии.

В связи с этим проводятся анализ запасов торфа и условий его формирования, оценка качества и пригодности торфяного сырья для производства продукции комплексного назначения, особенностей распределения промышленных категорий торфа по площади и глубине торфяной залежи.

Для выполнения данного проекта были выбраны два наиболее крупных месторождения – Славное и Есмоновский Моз (статьи о них – в печати).

В результате проведенных работ:

- определена геологическая изученность торфяных месторождений в государственном геологическом фонде;
- получены и проанализированы архивные данные по стратиграфии и запасам торфа;
- на наиболее перспективных участках выполнен отбор и проведены углубленные лабораторные исследования характеристик торфа;
- определены общетехнические характеристики (ботанический состав, степень разложения, зольность, влажность) обоих месторождений;
- проводится групповой анализ вещественного состава органического вещества отобранных образцов торфа;
- подготовлен необходимый материал для оценки и сформирован Перечень возможной продукции комплексного назначения торфяных месторождений (Славное), а также проведен выбор наиболее перспективного участка месторождения с целью его освоения для производства продукции комплексной переработки;
- отобрана серия образцов и начаты работы по получению из них активированных углей с последующей оценкой их качественных характеристик, включая сорбционную активность нефтесорбентов с оценкой сорбционных характеристик и концентрата микроудобрений (цинк, бор) на основе гумусового сырья.

В настоящее время проводятся работы по оценке качественных характеристик сырья месторождения Есмоновский Моз, а также по составлению Перечня получения возможной продукции и получения опытных образцов.

По итогам выполнения проекта «Разработать экспериментальную пилотную установку и усовершенствовать технологию получения комплексных органоминеральных гранулированных удобрений пролонгированного действия на основе торфа», финансируемого из средств РЦИФ, будет осуществлен выпуск комплексных гранулированных удобрений по годам: 2019 г. – 6,3 т, 2020 г. – 50, 2021 г. – 500 т (Минсельхозпрод).

Конкурентоспособность позволяет предлагать комплексные гранулированные удобрения на международные рынки.

В рамках задания «Выполнить комплекс мероприятий по отработке и освоению опытно-промышленной технологии получения активированных углей из кускового торфа» подпрограммы 01 «Рациональное природопользование и инновационные технологии глубокой переработки природных ресурсов» ГНТП «Природопользование и экологические риски» на 2016–2020 годы институт приступил к созданию технологии и опытно-промышленной установки по получению активированных углей из торфа (А. Э. Томсон, И. И. Лиштван, В. Б. Кунцевич и др.).

На основании данных маркетинговых исследований, выполненных в 2018–2019 гг., показано, что активированные угли в Республике Беларусь покупаются, но не производятся. Поэтому основу потребления активированных углей страны составляет импорт. На основании полученных данных выяснено, что средняя потребность предприятий республики составляет ориентировочно 600–700 т/год. Кроме того, потребности строящейся Белорусской атомной станции в соответствии с проектом составят ориентировочно 60 т активированных углей марки СКТ ЗС (торфяных) в год.

Средняя стоимость импортируемого активированного угля в последнее десятилетие колебалась около 3 долл. США/кг, при этом минимальная среднегодовая цена импорта в последнее десятилетие зафиксирована в 2016 г. (2,49 долл. США/кг), а максимальная – в 2014 г. (8,05 долл. США/кг).

В ходе выполнения работ в 2017–2018 гг. по договору с АО «ЭНПО «Неорганика» (г. Электросталь, Московская обл., Российская Федерация) была получена укрупненная партия торфяных активированных углей в количестве 160 кг. По своим характеристикам полученные торфяные активированные угли близки по свойствам к активированным углем БАУ, производимым на древесном сырье.

В рамках Государственной программы по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2011–2015 гг. и на период до 2020 г. впервые совместно с РНИУП «Институт радиобиологии» разрабатывается и проходит испытания новый углеродный ферроцинсодержащий радиопротекторный сорбент на основе торфяного активированного угля и гексацианоферрата же-

леза (ферроцина) (А. Э. Томсон). Полученные результаты показали, что кратность снижения Cs⁻¹³⁷ в мышечной ткани испытуемых животных составила 3,2–8,3 раза по отношению к контрольной группе животных. Белорусский препарат в 2,5 раз эффективнее, чем российский аналог. Проведены тестовые испытания полученных активированных углей и в некоторых других областях, в частности на водопроводной станции УП «Минскводоканал».

В связи с изложенным основной целью проекта является проведение комплекса мероприятий по отработке и освоению опытно-промышленной технологии получения активированных углей на основе торфяного сырья (кусковая продукция) путем создания опытной технологической линии, моделирующей процесс получения активированных углей с заданными свойствами, что позволит отработать необходимые технологические параметры процесса получения активированных углей и оценить экономические показатели безубыточного нового производства торфяных активированных углей в Беларусь ориентированной мощностью 90–100 т/год.

В рамках выполняемого проекта будет разработан проект пилотной установки по производству активированных углей из кускового торфа.

В 2020 г. будут проведены работы по усовершенствованию технологии и созданию оборудования по добыче кускового торфа, предназначенного для производства активированных углей, а также наработаны необходимые партии кускового торфа (В. Б. Кунцевич). Для улучшения прочностных и сорбционных показателей будут проведены работы по оценке влияния продуктов термохимической переработки (тяжелые смолы пиролиза) на свойства и параметры структуры торфяных активированных углей. В этом же году будет изготовлено и смонтировано основное оборудование опытно-промышленной установки по производству активированных углей из торфа. Опытно-промышленная установка по получению активированных углей из торфа будет размещена в филиале «Экспериментальная база Свислочь». Опытно промышленная технологическая линия позволит производить необходимое количество (ориентированно – 10 т/год) нового радиопротекторного препарата на основе торфяных активированных углей, модифицированных гексацианоферратом железа, разрабатываемого в рамках Государственной программы по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2011–2015 гг. и на период до 2020 г., что позволит полностью решить проблемы импортозамещения по данному виду препаратов.

Институт природопользования НАН Беларуси проводит работу по организации новых производств продукции из сапропеля как местного источника органического сырья. Упор делается на освоение наиболее ценных видов органического сапропеля, которые ранее, ввиду трудностей с обезвоживанием и сушкой, слабо использовались в хозяйствах (И. И. Лиштван, Б. В. Курзо) [1, 2, 10, 11].

Состав, количественные соотношения и формы нахождения биологически активных веществ в сапропеле позволяют получить высокий эффект с минимальной активизацией материала.

В связи с тем, что экспериментальная база института природопользования расположена вдалеке от разрабатываемых и перспективных залежей сапропеля, новые производства планируется создавать непосредственно в районе размещения осваиваемых месторождений при участии финансовых ресурсов организаций – изготовителей новой продукции (что иногда трудно осуществляется) и научном сопровождении института.

Органический и органо-кремнеземистый сапропель в силу наличия в составе биологически активных веществ (гуминовые кислоты, битумоиды, ферменты, витамины, микроэлементы и др.) используется в сельском хозяйстве в виде: удобрений и мелиорантов для увеличения урожайности сельскохозяйственных культур; кормовой добавки для увеличения резистентности и продуктивности сельскохозяйственных животных; лечебных грязей для профилактического лечения и оздоровления населения (Б. В. Курзо) [1, 2].

Наличие гуминовых кислот в органическом сапропеле, повышенное содержание вододисперсных аморфных частиц окислов металлов, кремнезема и карбонатов способствует образованию устойчивых структурированных систем коагуляционного типа, что позволяет с успехом использовать их для приготовления буровых растворов. ПО «Белоруснефть» из кремнеземистого сапропеля озера Червоное выпускает различные виды буровых растворов для проходки глубоких скважин. Стоит задача организации производства буровых растворов из сапропелевого сырья органического (малозольного) типа (выполняются диссертационные работы: Ю. Г. Янута – докторская диссертация, В. Н. Алейникова – кандидатская диссертация).

Сапропель для кормов и кормовых добавок по ТУ BY 400009031.001-2010 с 2014 г. выпускается ОАО «Лельчицкий агросервис» и реализуется на комбикормовых заводах Гомельской области. В результате реализации в 2006–2008 гг. Институтом природопользования в рамках ГНТП «Экологическая безопасность» проекта «Разработать экологобезопасные технологии производства и организовать выпуск сапропелевой кормовой добавки» в Лельчиках создано производство кормового сапропеля объемом до 10 тыс. т в год с полной реализацией выпускаемой продукции.

Более 80 оздоровительных и лечебных учреждений республики используют сапропелевые грязи (социальная значимость). Институт природопользования оценил сырье, разработал нормативную документацию и организовал выпуск лечебных грязей на озере Малая Корчинка для санатория «Плисса» Глубокского района (2015 г.), озере Святое для санатория «Приднепровский» Рогачевского района (2013 г.), озере Вальверово Поставского района (2012 г.) для лечебно-оздоровительных учреждений курорта Нарочь (Б. В. Курзо, О. М. Гайдукевич).

Новые производства по выпуску продукции из сапропеля предлагается организовать на базе перспективных месторождений с запасами органического сапропеля: озеро Добеевское Шумилинского района Витебской области (общий запас сапропеля – 2380 тыс. т, в том числе органического 1500 тыс. т), озеро Лочинское Осиповичского района Могилевской области (запас органического сапропеля – 500 тыс. т). Первым этапом при освоении этих объектов – детальные геологоразведочные работы, которые будет выполнять Институт природопользования (Б. В. Курзо, О. М. Гайдукевич).

Для разработки органического низкогумусного сапропеля в озере Добеевское Шумилинского района Институт природопользования в 2018 г. разработал (Б. В. Курзо) обоснование границ горного отвода по добычи сапропелевого сырья для ООО «Белсап», которое приступило к созданию предприятия. При научном сопровождении Института природопользования планируется комплексно решать задачи по переработке разведанных сырьевых запасов сапропеля, объем которых составляет 12,8 млн м³ (2,4 млн т).

Предприятие на озере Добеевское будет выпускать сапропелевый мелиорант-почвоулучшитель и сапропелевый компонент буровых растворов. Отличительной особенностью сапропелевого мелиоранта, предназначенного для мелиорации и удобрения песчаных почв, в том числе в странах Персидского залива, является высокая структурирующая способность за счет повышенного количества легко-гидролизуемых веществ (до 30 % на ОВ), высокое содержание усвояемых форм NPK, высокая насыщенность обменными основаниями (до 300 мг экв/100 г). Сапропелевый компонент для производства буровых растворов из органического сырья озера Добеевское позволит существенно улучшить параметры конечной продукции, по сравнению с применяемым сырьем озера Червоное: снизить плотность с 1,04–1,05 до 1,01–1,02 т/м³, довести водоотдачу до 10 см³/30 мин и др. Пониженная плотность сапропелевого бурового раствора даст возможность регулировать его параметры путем добавления углеводородного реагента. Освоение производства намечено на 2020–2024 гг. (И. И. Лиштван, Б. В. Курзо).

На озере Лочинское Осиповичского района с залежами высокогумусного сапропеля органического типа за счет инвестиций ООО «Тален Органик» (г. Гомель) будет организована добыча и построено предприятие по производству жидкого гуминового препарата из сапропеля и сапропелевых удобрений органического типа, которые в республике в настоящее время не выпускаются.

Отличительной особенностью сапропелевых удобрений, которые будут иметь конкурентные преимущества на отечественном и зарубежных рынках (И. И. Лиштван), является высокое содержание органического вещества (75–85 %), гуминовых кислот (50–60 % на ОВ), витаминов и аминокислот. По договору с ООО «Тален Органик» Институт природопользования приступил к выполнению детальных геологоразведочных работ, характеристике сырья и испытаниям планируемой к выпуску продукции (Б. В. Курзо). Особенностью универсальных органоминеральных гуминовых удобрений в виде пастообразного концентрата из сапропеля является повышенное содержание гуминовых кислот (не менее 30 г/л), азота (10–15 г/л), фосфора (5–10 г/л), калия (10–20 г/л).

Переработанный органический сапропель, обладающий повышенной биологической активностью, может найти применение на создаваемом в Пуховичском районе Белорусской национальной биотехнологической корпорацией (ЗАО «БНБК») высокотехнологичного агропромышленного производства полного цикла по выпуску кормовых средств для интенсификации животноводства.

Большие ресурсы торфа и сапропеля, многолетние исследования по изучению их свойств и строения позволили определить основные технологические направления их переработки с получением научноемкой продукции для энергетики, сельского хозяйства, промышленности, химической технологии, охраны окружающей среды, обороны, медицины, что позволило разработать проект концепции подпрограммы «Инновационные продукты на основе торфа и сапропеля» Государственной программы «Наукоемкие технологии и техника». Заказчик программы – Национальная академия наук Беларусь. Головная организация-исполнитель – Институт природопользования НАН Беларусь. К сожалению, судьба концепции пока неопределенна, хотя экономическая эффективность уже доказана (1980 и 2016 г.) (И. И. Лиштван) и идет реализация отдельных научно-технических проектов по другим прикладным решениям, даже при наличии особых мнений со стороны Министерства энергетики Республики Беларусь и его организации ГПО «Белтопгаз», где выделяются отдельные направления, которые ошибочно трактуются как процессы комплексной глубокой переработки торфа на 2017–2020 гг.

В течение 2019 г. Институт природопользования НАН Беларусь (И. И. Лиштван), основываясь на поддержке Президиумом НАН Беларусь разработки Союзной программы по торфу и сапропелю,

обращался за ее поддержкой к Министерству энергетики Республики Беларусь, руководству Новосибирской, Свердловской, Кемеровской областей России, однако положительных решений пока не последовало.

Как уже отмечалось выше, в нашей стране успешно реализуется ГНТП «Природопользование и экологические риски» (госзаказчики – НАН Беларуси и Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь; срок окончания работ – 2020 г.) [11]. Важные работы выполняются по подпрограмме (всего 21 задание) «Рациональное природопользование и инновационные технологии глубокой переработки природных ресурсов» (госзаказчик – НАН Беларуси).

По предложению Президиума НАН Беларуси на период 2021–2025 гг. создан проект концепции нового варианта программы «Природопользование и экологические риски» – «Разработка эффективных инновационных технологий природопользования, рациональное освоение природно-ресурсного потенциала для обеспечения устойчивого развития национальной экономики при минимизации ущерба окружающей среды». Вариант проекта концепции находится в Президиуме НАН Беларуси, включая самостоятельную подпрограмму по эффективности освоения лесов Беларуси.

1. Цель и задачи программы

Цель – разработка эффективных инновационных технологий природопользования и рациональное освоение природно-ресурсного потенциала для обеспечения устойчивого развития национальной экономики при сохранении благоприятной для жизнедеятельности человека окружающей среды.

Задачи:

- обеспечение сбалансированного использования природных ресурсов и экологической безопасности;
- разработка инновационных технологий комплексной переработки минерально-сырьевых и биологических ресурсов;
- минимизация ущерба окружающей среде при добыче и переработке природных ресурсов и обращении с отходами;
- обеспечение благоприятных для жизнедеятельности человека условий и качества окружающей среды;
- сохранение и рациональное использование биоразнообразия;
- уменьшение техногенных нагрузок на окружающую среду;
- разработка методов регулирования качества окружающей среды и улучшения условий жизни и здоровья человека.

2. Заказчик – Национальная академия наук Беларуси.

3. Срок исполнения: I квартал 2021 г. – IV квартал 2025 г.

4. Организации-потребители: Министерство жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь, Министерство здравоохранения Республики Беларусь, Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Министерство промышленности Республики Беларусь, Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, Министерство энергетики Республики Беларусь.

5. Краткое обоснование.

Многообразная деятельность по использованию природных ресурсов неизбежно вызывает проблемы, связанные с воздействием на окружающую среду. В этой связи важнейшими задачами природопользования являются оптимизация использования природных ресурсов и минимизация негативного влияния на природные среды. В современных условиях особо важно совершить переход от многоотраслевого суммарного использования природных ресурсов к их комплексной эксплуатации с обеспечением сохранения комфортных условий для жизнедеятельности человека и существования биологических сообществ.

Воздействие человека на природу возрастает по мере роста численности населения и усложнения форм его деятельности. С течением времени антропогенное воздействие на окружающую среду приобрело глобальный характер. Так, на смену девственным природным ландшафтам повсеместно пришли антропогенные. Территорий, не затронутых последствиями деятельности человека, практически не существует. Продукты техногенной деятельности распространяются с потоками воздуха, атмосферными, речными и грунтовыми водами. Происходит вывод из оборота пахотных земель из-за загрязнения пестицидами и чрезмерного употребления удобрений, засоления, ветряной и водной эрозии. Отмечено возрастающее химическое воздействие на среду обитания человека, продукты земледелия и животноводства, водные источники. В связи с истощением богатых месторождений полезных ископаемых в эксплуатацию вводятся месторождения с низким содержанием полезных продуктов, что требует длительного и сложного процесса обогащения и увеличивает объем выбросов пустой породы. Возникла необходимость кардинального пересмотра взгляда на ресурсы как на неис-

черпаемый источник, способный к неограниченному самоочищению и самовосстановлению, что в свою очередь требует использования материально-, энерго-, ресурсосберегающих технологий, экономии, полноты и комплексности переработки сырья, широкого применения заменителей и вторичного сырья.

Однако влияние человека на окружающую среду может быть стабилизирующим и конструктивным, если своевременно планируется реализация мер по замедлению деструктивных процессов и восстановлению нарушенных природных комплексов.

В целом, развитие экономики и человеческого общества должно сопровождаться реализацией комплекса постоянно работающих экологических и природоохранных программ разносторонней направленности в целях обеспечения/сохранения национальной и глобальной безопасности, защита жизненно важных интересов человека, в частности его права на чистую, здоровую, благоприятную для жизни окружающую среду. Следует также отметить, что в нынешних и последующих формах человеческой деятельности природная среда по В. И. Вернадскому будет меняться и переходить из чисто биосферного определения в наносферное, а затем и в техносферное, когда природные ресурсы – твердые, жидкие, газообразные – будут использоваться не только рационально, но и комплексно – без образования отходов.

Список использованных источников

1. Ресурсы и качественный состав торфяного сырья на месторождениях, зарезервированных для термобиохимической переработки / И. И. Лиштван [и др.] // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 188–204.
2. Лиштван, И. И. Этапы становления и развития науки о торфе и сапропелях / И. И. Лиштван, Л. С. Лис // Природопользование. – 2018. – № 2. – С. 5–21.
3. Зависимость теплофизических и прочностных характеристик мерзлых грунтов от температуры / Г. П. Бровка [и др.] // Природопользование. – Вып. 31. – 2017. – С. 45–49.
4. Бровка, Г. П. Совершенствование аналитических и численных моделей расчета температурных полей в промерзающих грунтах / Г. П. Бровка, К. А. Агутин, М. В. Мучко // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации : материалы 13-й науч.-практ. конф. – М. : ООО «Геомаркетинг», 2017. – С. 313–319.
5. Бровка Г. П. Процессы структурообразования в промерзающих осадочных горных породах / Г. П. Бровка, А. А. Мурашко // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 207–215.
6. Першай, Н. С. Новый сорбционный материал из остатков торфа и бурого угля / Н. С. Першай, Ю. Г. Янута // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 264–273.
7. Структурно-механические свойства торфяной золы и подвижность в ней катионов кальция, магния и железа / И. И. Лиштван [и др.] // Природопользование. – 2018. – № 2. – С. 119–127.
8. Использование золы от скижания торфо-древесного и торфяного топлива в качестве компонента высокопрочного бетона / Г. Д. Ляхевич [и др.] // Природопользование. – 2018. – № 2. – С. 112–118.
9. Утилизация полимерных отходов пиролиза совместно с торфом с получением высококалорийного газа / И. И. Лиштван [и др.] // Химия твердого топлива. – 2017. – № 5. – С. 10–15.
10. Лиштван, И. И. Состояние и перспективы использования торфа в Республике Беларусь / И. И. Лиштван // Альтернативные источники сырья и топлива : VII Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 150-летию Периодической таблицы химических элементов Д. И. Менделеева, Минск 28–30 мая 2019 г. – Минск, 2019. – С. 18.
11. Государственная научно-техническая программа «Природопользование и экологические риски» / научный руководитель и разработчик программы И. И. Лиштван // Материалы Президиума НАН Беларуси 2016–2020 годы. (На рассмотрении 2021–2025 годы.)

References

1. Lishtvan I. I., Kurzo B. V., Gajdukevich O. M., Navosha Yu. Yu. *Resursy i kachestvennyj sostav torfyanogo syr'ya na mestorozhdeniyah, zarezervirovannyh dlya termobiohimicheskoy pererabotki* [Resources and quality content of peat raw material on deposits, reserved for thermobiochemical proceeding]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2019, no. 1, pp. 188–204. (in Russian)
2. Lishtvan I. I., Lis L. S. *Etapy stanovleniya i razvitiya nauki o torfe i sapropelyah* [Stages of the formation and development of peat science]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2018, no. 2, pp. 5–21. (in Russian)
3. Brovka G. P., Agutin K. A., Brovka A. G., Dedyulya I. V. *Zavisimost' teplofizicheskikh i prochnostnyh harakteristik merzlyh gruntov ot temperatury* [Dependences of the heat, chemical and strength characteristics of freeze soils from temperature]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2017, issue 31, pp. 45–49. (in Russian)
4. Brovka G. P., Agutin K. A., Muchko M. V. *Sovershenstvovanie analiticheskikh i chislennyh modelej rascheta temperaturnyh polej v promerzayushchih gruntah* [Perfection of analytical and numerical models of the account of temperature fields in freezing soils]. *Materialy 13 nauchno-prakticheskoy konferencii «Perspektivny razvitiya inzhenernyh izyskanij v stroitel'stve v Rossiskoj Federacii»* [Materials of 13th scientific and practical conference ‘Prospectives

- of the development of engineering research in the building of Russian Federation]. Moscow, 2017, pp. 313–319. (inof of Russian)
5. Brovka G. P., Murashko A. A. *Processy strukturoobrazovaniya v promerzayushchih osadochnykh gornykh porodakh* [Processes of structure formation in freezing sediment rocks]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2019, no. 2, pp. 207–215. (in Russian)
 6. Pershaj N. S., Yanuta Yu. G. *Novyj sorbciionnyj material iz ostatkov torfa i burogo ugliya* [New sorbent material from the remnants of peat and brown coal]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2019, no. 2, pp. 264–273.
 7. Lishtvan I. I., Yanuta Yu. G., Abramec A. M., Dudnikova E. L., Kozlova A. N., Dedyulya I. V., Pershaj N. S. *Strukturno-mekhanicheskie svoystva torfyanoy zoly i podvizhnost' v nej kationov kal'cija, magniya i zheleza* [Structure and mechanic peculiarities of peat ash and the mobility of calcium, magnesium and iron cations in it]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2018, no. 2, pp. 119–127. (in Russian)
 8. Lyahevich G. D., Lishtvan I. I., Lyahevich A. G., Grechuhin V. A., Dudarchik V. M., Krajko V. M. *Ispol'zovanie zoly ot szhiganiya torfo-drevesnogo i torfyanogo topliva v kachestve komponenta vysokoprochnogo betona* [The use of ash from the burning of peat and wood fuel as the component of the concrete of high-strength]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2018, no. 2, pp. 112–118. (in Russian)
 9. Lishtvan I. I., Dudarchik V. M., Krajko V. M. i dr. *Utilizaciya polimernyh othodov piroliza sovmestno s torfom s polucheniem vysokokalorijnogo gaza* [Utilization of polymeric wastes from pyrolysis together with peat with the obtaining of gas of high quality]. *Himiya tverdogo topliva = Solid Fuel Chemistry*, 2017, no. 5, pp. 10–15. (in Russian)
 10. Lishtvan I. I. *Sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya torfa v Respublike Belarus'* [State and prospects of peat use in the Republic of Belarus]. *Al'ternativnye istochniki syr'ya i topliva. VII Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferenciya, posvyashchennaya 150-letiyu Periodicheskoy tablitsy himicheskikh elementov D. I. Mendeleeva* [Proc. VII Int. Sci. and Tech. Conf., dedicated to the 150th anniversary of the Periodic table of chemical elements of D. I. Mendeleev 'Alternative sources of raw materials and fuel'], Minsk, 28–30 May 2019. Minsk, 2019, p. 18. (in Russian)
 11. Lishtvan I. I. *Gosudarstvennaya nauchno-tehnicheskaya programma "Prirodopol'zovanie i ekologicheskie riski nauchnyj rukovoditel' i razrabotchik programmy. Materialy Prezidiuma NAN Belarusi 2016–2020 gody. (Na rassmotrenii 2021–2025 gody.)* (in Russian)

Информация об авторах

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

Бровка Геннадий Петрович – доктор технических наук, заведующий лабораторией физико-химической механики природных дисперсных систем, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: brovka_gp@rambler.ru

Дударчик Владимир Михайлович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: dudwm@tut.by

Крайко Валентина Михайловна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: vv kraiko@gmail.com

Янута Юрий Григорьевич – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: yanuta@tut.by

Information about the authors

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

Gennadiy P. Brovka – D. Sc. (Technical), 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., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: brovka_gp@rambler.ru

Uladimir M. Dudarchyk – Ph. D. (Technical), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: dudwm@tut.by

Valiantsina M. Kraiko – Ph. D. (Technical), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: vv kraiko@gmail.com

Yuriy G. Yanuta – Ph. D. (Technical), Docent, Leading Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: yanuta@tut.by

АВТОМАТИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ ДВУХПЛОСКОСТНОГО СРЕЗА И МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ НА СДВИГ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

А. А. Мурашко, А. Г. Бровка, И. В. Дедюля, К. А. Агутин

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. Приводится описание установки для исследования сдвиговых характеристик мерзлых грунтов, автоматизированной на базе комбинации прибора двухплоскостного среза, разработанного в Институте природопользования НАН Беларуси и приборного комплекса «АСИС» ООО НПП «Геотек» (г. Пенза). Показана возможность исследования с помощью модернизированной установки предельно-длительных сдвиговых характеристик и ползучести замороженных грунтов в условиях независимой вариации нормальной и сдвигающей нагрузок, необходимых для оценки деформационно-прочностных характеристик замороженных горных пород при разработке проектов проходки шахтных стволов калийных рудников с использованием искусственного замораживания.

Ключевые слова: замороженные горные породы; сдвиговые характеристики; ползучесть; прибор двухплоскостного среза; приборный комплекс «АСИС».

Для цитирования. Мурашко А. А., Бровка А. Г., Дедюля И. В., Агутин К. А. Автоматизация установки двухплоскостного среза и методики испытания грунтов на сдвиг при отрицательной температуре // Природопользование. – 2020. – № 1. – С. 132–137.

THE AUTOMATION OF THE PLANT OF TWO-PLANE CUT AND THE METHODICS OF SOIL TESTING ON SHIFT DURING NEGATIVE TEMPERATURE

A. A. Murashko, A. G. Brovka, I. V. Dedyulya, K. A. Agutin

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

Abstract. The description of the plant for the study of the shift characteristics of frozen soils automated on the base of the combination of the tool of two-plane cut developed in the Institute of Nature Management of the NAS of Belarus and 'ASIS' instrument complex of LLC NPP 'Geotech' (Penza) is shown. The ability of studying with the help of the modernized plant of utterly-long shift characteristics and the creeping of frozen soils in the conditions of the independent variations of normal and shift load which is need for the estimation of the deformation and strength characteristics of rocks during the development of the projects of the mine shafts of potash mines with the use of artificial freezing is shown.

Key words: frozen rocks; shift characteristics; creeping; the tool of two-plane cut; 'ASIS' instrument complex.

For citation. Myrashko A. A., Brovka A. G., Dedyulya I. V., Agutin K. A. The automation of the plant of two-plane cut and the methodics of soil testing on shift during negative temperature. *Nature Management*, 2020, no. 1, pp. 132–137.

Введение. Общими недостатками известных конструкций устройств для сдвиговых испытаний являются ограниченные величины сдвигающей нагрузки и наличие трения между подвижными и неподвижными их частями, а также значительный зазор между подвижной и неподвижной обоймами. Для экспериментального определения сдвиговых характеристик мерзлых грунтов Г. П. Бровкой и И. И. Романенко предложено устройство, в котором исключено трение между подвижной и неподвижной обоймами, а сдвиг образца осуществляется по двум параллельным сечениям, что повышает точность испытаний. Новизна данного технического решения в свое время была защищена авторским свидетельством [1]. Это решение позволяет конструировать компактные приборы для испытания на сдвиг мерзлых грунтов и льда, а также пород высокой прочности с применением различных сдвигающих механизмов: гидропрессов, пневмокамер, рычагов.

Приборы и методы исследования. В ранее разработанной конструкции сдвигового прибора используется метод испытания при одновременном воздействии нормальной и сдвиговой напряжений, причем нормальная и сдвигающая нагрузки прикладываются независимо. Схема устройства для испытания на сдвиг мерзлых грунтов представлена на рис. 1. Конструкционной особенностью данного

устройства является то, что подвижная обойма 1 посредством тяги соединена с обоймой подшипников качения, установленных на оси, закрепленной в верхней части рамы 9. Неподвижные обоймы 2 закреплены в нижней части рамы и расположены симметрично относительно подвижной обоймы. Нормальная нагрузка на образец прикладывается с торцов неподвижных обойм с помощью тарированного пружинного механизма. Такая конструкция позволяет свести к минимуму силу трения, так как нормальная нагрузка практически не передается на подвижную обойму и подшипники качения. Сдвиг образца осуществляется смещением подвижной обоймы относительно неподвижных обойм. При этом в качестве сдвигающих механизмов можно использовать пневмокамеры, гидропривод, рычаги. Величина нормальной нагрузки и деформация образца при сдвиге контролируются с помощью индикаторов часового типа 5, 6 с ценой деления 0,01 мм.

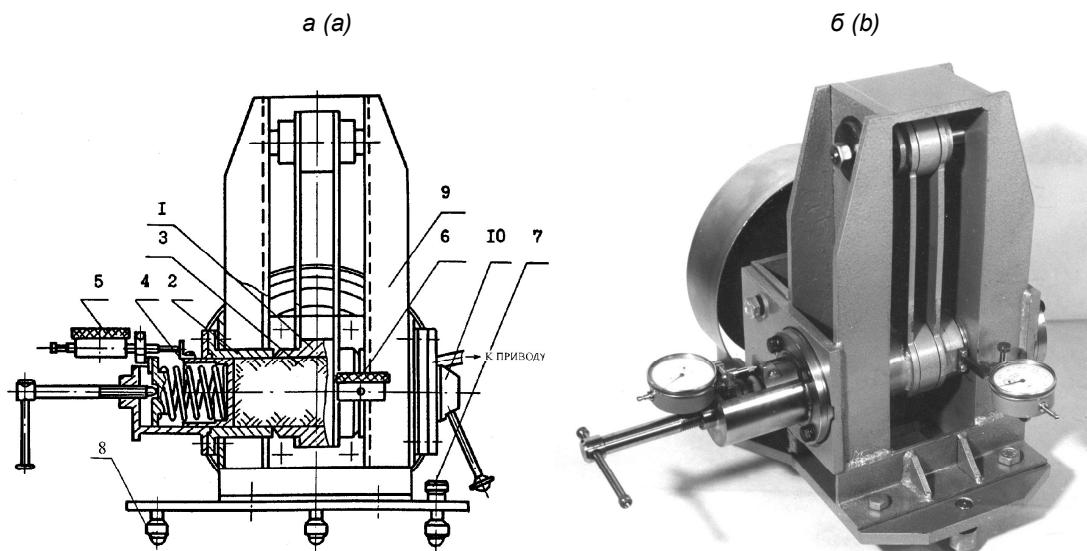


Рис. 1. Схема (а) и внешний вид (б) устройства для испытания на сдвиг мерзлых грунтов:
1 – подвижная обойма; 2 – неподвижная обойма; 3 – образец исследуемого грунта;
4 – механизм осевого нагружения; 5, 6 – индикаторы часового типа; 7 – уровень;
8 – винты регулировочные; 9 – рама; 10 – затвор

Fig. 1. The scheme (a) and external view (b) of a device for testing on frozen soils shift:
1 – moving clip; 2 – non-moving clip; 3 – the sample of studied soil;
4 – the mechanism of axial loading; 5, 6 – the indicator of clock type; 7 – level;
8 – adjusting screws; 9 – frame; 10 – shutter

Эксплуатация данного устройства показала, что при испытании уплотненных глинистых пород, при нормальных нагрузках выше 1 МПа вследствие большой силы трения грунта о стенки обойм часть нормальной нагрузки передается на подвижную обойму. Это может вызывать погрешность в определении угла внутреннего трения. Для устранения указанной погрешности конструкция нагрузочного устройства была оснащена механизмом нагружения, выполненным в виде плавающего суппорта, что позволило свести к минимуму силу трения между обоймами.

Приведенное выше оборудование позволяет проводить испытания в условиях сдвига грунтов при нормальном усилии до 20 кН, что обеспечивает нормальную нагрузку на грунт до 10 МПа. Это позволило проводить испытания грунтов на сдвиг при уплотняющих нагрузках, соответствующих значениям горного давления на больших глубинах.

С помощью представленного оборудования выполнен ряд научно-исследовательских работ по определению условно-мгновенных значений структурного сцепления и угла внутреннего трения замороженных горных пород из участков проходки шахтных стволов калийных рудников в сложных гидрогеологических условиях, требующих использование искусственного замораживания.

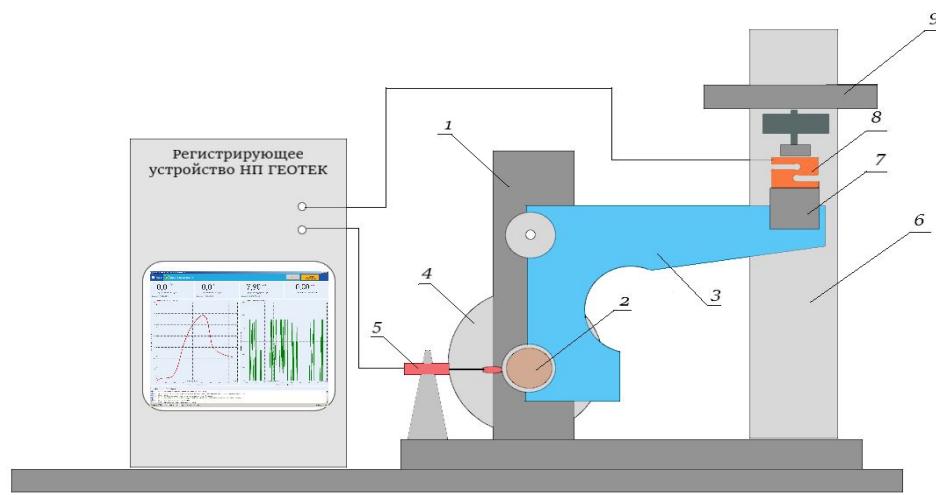
С целью исследования предельно-длительных значений сдвиговых характеристик, а также оценки ползучести мерзлых горных пород в условиях сдвига проведена модернизация сдвиговой установки, направленная на автоматизацию процесса испытаний, уменьшающая трудоемкость и повышающая точность испытаний. Для этого использован и адаптирован автоматизированный испытательный комплекс приборов «АСИС» ООО НПП «Геотек» (г. Пенза). В первую очередь возникла идея использовать устройство осевого нагружения, обеспечивающее установку одноосного сжатия ГТ 2.5.6

(рис. 2, 3), и соответствующую методику испытаний на предельно-длительную прочность при одноосном сжатии. При этом для использования устройства осевого нагружения в качестве сдвигающего элемента к тяге сдвигового прибора (рис. 4) прикреплен нагрузочный Г-образный рычаг 3. На одно из плеч этого рычага передается нагрузка от устройства осевого нагружения, а второе плечо жестко прикреплено к тяге сдвигового прибора, соединяющей подшипники качения с подвижной обоймой, что позволяет передавать нагрузку от устройства осевого нагружения на подвижную обойму. Для замера деформации сдвига датчик перемещений приведен в контакт с подвижной обоймой. На рис. 4 представлена фотография модернизированной установки двухплоскостного среза. Таким образом, решены задачи задания режима нагружения и регистрации деформации сдвига с помощью автоматизированного испытательного комплекса приборов «АСИС» ООО НПП «Геотек» (г. Пенза).



Рис. 2. Внешний вид устройства одноосного сжатия ГТ 2.5.6

Fig. 2. External view of the device of monosyllabic compression GT 2.5.6



**Рис. 3. Схема согласования устройства двухплоскостного среза и устройства осевого нагружения
ООО НПП «Геотек»: 1 – сдвиговой прибор; 2 – обойма с образцом грунта; 3 – нагрузочный рычаг;
4 – устройство нормального нагружения; 5 – датчик перемещения; 6 – устройство одноосного сжатия
ГТ 2.5.6; 7 – штамп вертикального нагружения; 8 – датчик силы; 9 – подвижная нагрузженная платформа**

Fig. 3. The scheme of the matching of two-plane cut and the device of axial loading LLC NPP ‘Geotek’:
1 – shift tool; 2 – clip with soil sample; 3 – loading lever; 4 – the device of normal loading;
5 – the indicator of transition; 6 – the device of uniaxial compression GT 2.5.6;
7 – the stamp of vertical loading; 8 – the indicator of strength; 9 – moving loading platform

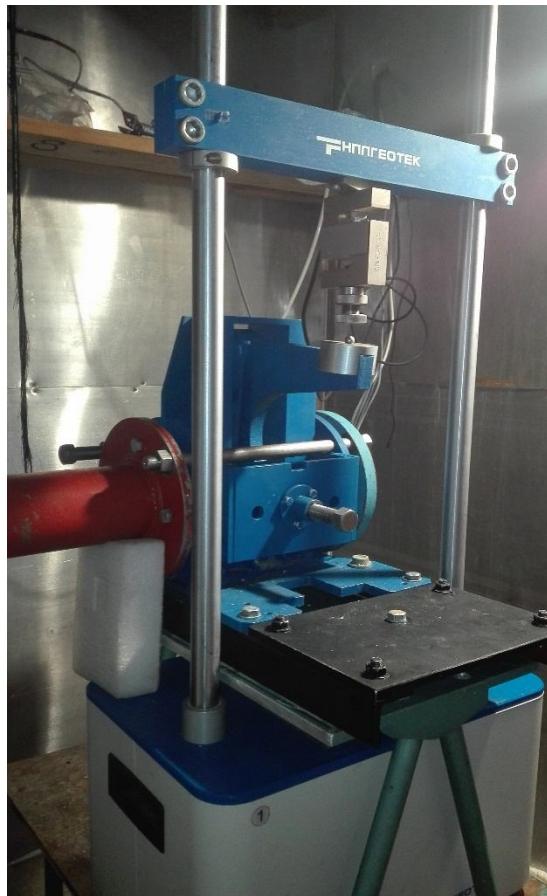


Рис. 4. Модернизированное устройство двухплоскостного среза, интегрированное в автоматизированный комплекс «АСИС»

Fig. 4. Modernized device of two-plane cut integrated in ‘ASIS’ automated complex

Следует также отметить, что выполненная модернизация позволяет использовать программное обеспечение, созданное для проведения одноосных испытаний, с учетом коррекции вводимых параметров образцов; в качестве диаметра указывается величина, соответствующая двойной площади сдвига (71,3 мм), а в качестве высоты – диаметр цилиндрического образца (50,5 мм).

Исследования. Представляет интерес рассмотреть возможность использования модернизированной установки двухплоскостного среза для исследования ползучести горных пород в условиях сдвига, чего нельзя сделать стандартными устройствами сдвига из-за наличия указанных выше их недостатков. С этой целью проведены исследования с образцами мела при температуре -15°C . При этом нормальная нагрузка составляла 2 МПа, ступени нагружения – 0,4 МПа, а интервал смены нагрузки – 4 ч.

На рис. 5 представлены кривые ползучести и их аппроксимация по аналогии с соответствующими кривыми при одноосном сжатии. При этом использовалась методология С. С. Вялова [2], принятая в ГОСТе 12248-2010 для аппроксимации кривых ползучести с помощью приведенной ниже формулы.

Согласно этой формуле коэффициенты нелинейной деформации определяют по зависимости, устанавливающей связь между относительными продольными деформациями, напряжениями и временем действия нагрузки t :

$$\varepsilon(\sigma, t) = f(\sigma) \cdot (t / t_0)^{\alpha},$$

где $f(\sigma) = (\sigma / A_0)^{1/m}$ – для модели нелинейно деформируемого основания (параметры функции: A_0 – коэффициента нелинейной деформации; m – коэффициент нелинейности по напряжениям); t_0 – условное время 1 ч; α – коэффициент нелинейности по времени.

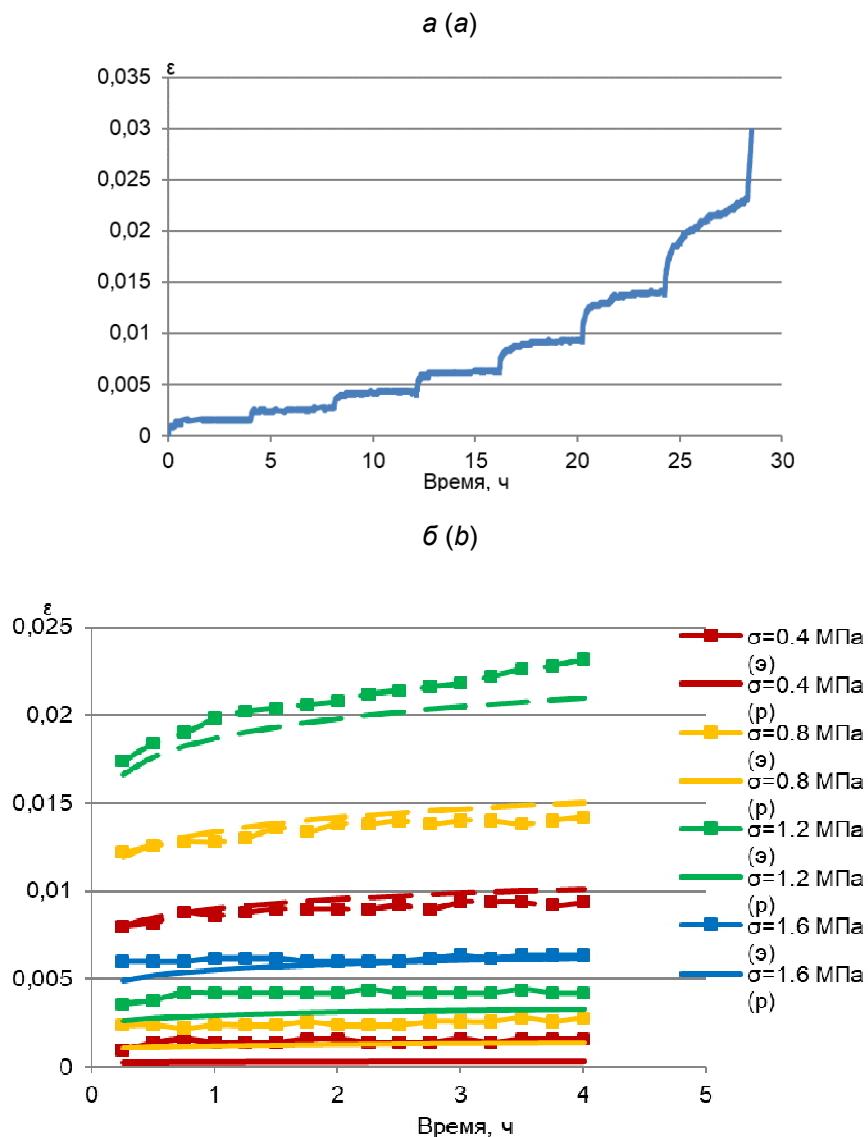


Рис. 5. Реологическая кривая ползучести (а) и ее аппроксимация (б).
Порода – мел, температура – -15°C . Ступени нагружения, МПа:
1 – 0,4; 2 – 0,8; 3 – 1,2; 4 – 1,6; 5 – 2,0; 6 – 2,4; 7 – 2,8

Fig. 5. The rheological curve of creeping (a) and its approximation (b).
Rock – chalk, temperature – -15°C . Levels of loading, MPa:
1 – 0.4; 2 – 0.8; 3 – 1.2; 4 – 1.6; 5 – 2.0; 6 – 2.4; 7 – 2.8

Статистическая обработка кривых ползучести показала, что параметры аппроксимации имеют следующие численные значения: $A_0 = 17,53$ МПа, $\alpha = 0,084$, $m = 0,46$. Анализ полученных коэффициентов нелинейной деформации показывает, что в первом приближении эти коэффициенты близки к соответствующим коэффициентам, полученным при одноосном сжатии аналогичного образца. В дальнейших исследованиях ползучести мерзлых пород при сдвиге предполагается получить коэффициенты нелинейной деформации для ряда типичных горных пород и сопоставить их с аналогичными характеристиками, полученными при одноосном сжатии. Кроме этого планируется провести исследования при вариации нормальной нагрузки в широких пределах. Это позволит выявить влияние на процессы ползучести всестороннего давления, и есть основания полагать, что модернизированное устройство двухстороннего среза может дополнить методы исследования ползучести горных пород в условиях независимой вариации всестороннего давления и сдвигающей нагрузки.

Заключение. Создана новая установка для исследования сдвиговых характеристик мерзлых грунтов путем комбинации прибора двухплоскостного среза, разработанного в Институте природопользования НАН Беларуси и приборного комплекса «АСИС» ООО НПП «Геотек» (г. Пенза). Показана

работоспособность автоматизированной установки и возможность исследования с ее помощью предельно-длительных сдвиговых характеристик и ползучести замороженных грунтов в условиях независимой вариации нормальной и сдвигающей нагрузок. Это позволяет в перспективе дополнить методы исследования ползучести горных пород в условиях независимой вариации всестороннего давления и сдвигающей нагрузки, необходимых для оценки деформационно-прочностных характеристик замороженных горных пород при разработке проектов проходки шахтных стволов калийных рудников с использованием искусственного замораживания.

Список использованных источников

1. Устройство для испытания мерзлых грунтов и льда на сдвиг: а. с. 1213129 СССР, МКИ⁴ Е 02 Д 1/00, Г 01 N 3/24 / Г. П. Бровка, И. И. Романенко ; Ин-т торфа Акад. наук БССР. – № 3769012/29-33 ; заявл. 13.07.84 ; опубл. 23.02.86 // Открытия. Изобретения. – 1986. – № 7. – 157 с.
2. Прочность и ползучесть мерзлых грунтов и расчеты ледогрунтовых ограждений / под ред. С. С. Вялова. – М. : Изд. Акад. наук СССР, 1962. – 254 с.

References

1. Brovka G. P., Romanenko I. I. *Ustrojstvo dlya ispytaniya merzlyh gruntov i l'da na sdvig* [Device for the testing of frozen soils and ice on shift] a. p. 1213129 USSR, MKI4 E 02 D 1/00, G 01 N 3/24 ; Institute of peat of the BSSR Academy of Sciences, no. 3769012/29-33; declared 13.07.84; publ. 23.02.86. *Openings. Inventions*, 1986, no. 7, 157 p. (in Russian)
2. *Prochnost' i polzuchest' merzlyh gruntov i raschety ledogruntovyh ograzhdeneij* [The strength and creeping of frozen soils and the estimations of ice and soils inclosures]. Edited by S. S. Vyalov. Moscow, Academy of Sciences of the USSR Publ., 1962, 254 p. (in Russian)

Информация об авторах

Мурашко Андрей Анатольевич – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: amurbmw@tut.by

Бровка Андрей Геннадьевич – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

Дедюля Иван Владимирович – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: dedyulyaivan@yandex.by

Агутин Кирилл Алексеевич – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

Information about the authors

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., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: amurbmw@tut.by

Andrey G. Brovka – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by

Ivan V. Dzядзюля – Ph. D (Technical), Assistant Professor, Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (F. Skoriny Str., 10, 220076, Minsk, Belarus). E-mail: dedyulyaivan@yandex.by

Kirill A. Agutin – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (F. Skoriny Str., 10, 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СУШКИ И ДИАМЕТРА КУСКОВОГО ТОРФА НА ЕГО КАЧЕСТВО И ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУЧАЕМЫХ АКТИВИРОВАННЫХ УГЛЕЙ

В. Б. Кунцевич, А. Э. Томсон, Т. И. Макаренко, Н. А. Булгакова, Т. Я. Царюк

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. Исследовано влияние условий сушки и диаметра кускового торфа на его насыпную плотность и прочность на скатие. Показано существенное различие качественных характеристик куска, сформированного через мундштуки разного диаметра и высушенного в условиях конвективного и радиационно-конвективного режимов. Установлено, что активированные угли, полученные из кускового торфа диаметром 40 мм, по адсорбционной активности соответствуют ГОСТ 6217-74, однако их прочность на истирание недостаточна.

Ключевые слова: торфяное месторождение; кусковой торф; условия сушки; качественные характеристики; торфяной активированный уголь.

Для цитирования. Кунцевич В. Б., Томсон А. Э., Макаренко Т. И., Булгакова Н. А., Царюк Т. Я. Влияние условий сушки и диаметра кускового торфа на его качество и характеристики получаемых активированных углей // Природопользование. – 2020. – № 1. – С. 138–143.

INFLUENCE OF DRYING CONDITIONS AND SALK PEAT DIAMETER ON THE ITS QUALITY AND CHARACTERISTICS OF THE ACTIVATED CARBON RECEIVED FROM IT

V. B. Kuntsevich, A. E. Tomson, T. I. Makarenko, N. A. Bulgakova, T. Ya. Tsariuk

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

Abstract. The effect of drying conditions and the diameter of lump peat on its bulk density and compressive strength is investigated. A significant difference in the qualitative characteristics of a piece formed through mouthpieces of different diameters and dried under convective and radiation-convective regimes is shown. It has been established that activated carbons obtained from lump peat with a diameter of 40 mm correspond to GOST 6217-74 in terms of adsorption activity, but their abrasion resistance is insufficient.

Keywords: peat deposit; lump peat; drying conditions; qualitative characteristics; peat activated carbon.

For citation. Kuntsevich V. B., Tomson A. E., Makarenko T. I., Bulgakova N. A., Tsariuk T. Ya. Influence of drying conditions and salk peat diameter on the its quality and characteristics of the activated carbon received from it. *Nature Management*, 2020, no. 1, pp. 138–143.

Введение. В ближайшие годы в Республике Беларусь планируется организовать опытно-промышленное производство активированных углей (АУ) из кускового торфа. Ранее проведенными исследованиями показано, что на адсорбционную активность АУ как по иоду, так и по метиленовому голубому, помимо качественной характеристики торфяной залежи, существенное влияние оказывает и качество добытой продукции, в частности насыпная плотность и прочность на скатие: чем выше указанные показатели кускового торфа, добытого существующим комплексом машин, тем лучше качество АУ.

Насыпную плотность и прочность на скатие обычно увеличивают путем механической переработки торфяной массы. Ее влияние на указанные показатели в научной литературе оценивается неоднозначно. По мнению некоторых авторов, основное влияние на насыпную плотность и прочность кускового торфа оказывает сравнительно небольшая начальная переработка при однократном пропускании через перерабатывающий механизм [1]. В других работах отмечается, что существует оптимальная степень механической переработки, при которой кусковой торф имеет наибольшую прочность [2–4].

При сушке сформованной продукции в условиях радиационно-конвективного режима начало удаления физико-химической связанной воды характеризуется процессом структурообразования, ко-

гда усадка торфа осуществляется под действием сил межмолекулярного взаимодействия различной природы. В условиях неравномерного обезвоживания в этот период в куске возникают большие градиенты влагосодержания, приводящие к образованию трещин, которые являются существенным фактором снижения общей прочности кускового торфа. Градиент влажности можно регулировать пористостью (степенью механической переработки) или размерами кускового торфа. При уменьшении размеров куска и большей пористости градиент влажности между его верхним и центральным слоями снижается [5].

Помимо трещенообразования негативное влияние на прочность кускового торфа оказывает наличие дефектов в его объеме, количество которых возрастает с увеличением диаметра образца [6].

В то же время добыча кускового торфа способом фрезерования залежи имеет свои особенности. С уменьшением диаметра мундштуков добывающей машины увеличивается вероятность их «забивания» древесными включениями, что приводит к снижению коэффициента использования рабочего времени и, как следствие, производительности машины, что при добыче кускового торфа в промышленных масштабах существенно ухудшает технико-экономические показатели его производства.

Таким образом, очевидно, что существует оптимальный диаметр кускового торфа, который, с одной стороны, должен обеспечивать приемлемые показатели качества получаемых из него АУ, а с другой – рентабельность производства кускового торфа.

Ранее проведенными исследованиями установлено, что начальный диаметр куска, обеспечивающий адсорбционную активность АУ по иоду не менее 60 % (ГОСТ 6217-74), должен быть в пределах 35–40 мм. Учитывая изложенное, определенный интерес представляли исследования по определению технологических показателей производства мелкокускового торфа¹ и его качественных характеристик как сырья для получения АУ.

Аналогичные работы проводили и ранее [1, 6, 7], однако они были направлены на совершенствование технологии добычи торфа, снижение ее зависимости от метеорологических условий, увеличение цикловых и сезонных сборов, повышение качества добываемой продукции как топлива для коммунально-бытовых потребителей. Исследования проводили с использованием как опытных образцов оборудования (МДГ-0,5, МТГ), так и серийно выпускаемых машин (МБТ-500, МТК-12). В последнем случае диаметр мундштуков равен 80 и 95 мм соответственно. В настоящее время, согласно СТБ 2202–2011, диаметр кускового торфа, предназначенного для сжигания в бытовых топках, промышленных котлах и печах, составляет 64, 80, 100 или 150 мм.

Цель работы – провести исследование влияния условий сушки кускового торфа и его размеров на насыпную плотность и прочность на сжатие, а также на качественные характеристики АУ, полученных из окускованной продукции.

Объекты и методы исследования. Исследования проводили в 2018–2019 гг. на торфяном месторождении «Туршевка–Чертово», расположенном в Крупском районе Минской области. Непосредственно опытные площадки оборудованы на поле № 7^a, карты 2 и 3. Залежь сложена пущицово-сфагновым верховым торфом степенью разложения 30 % и зольностью 1,9 %. Поле, как и весь участок, осушено сетью открытых каналов по схеме, принятой для добычи торфа фрезерным способом на залежи верхового типа. Торф добыт машиной КТД-1 (диаметр мундштуков 40 мм) и машиной МТК-12 (контроль, диаметр мундштука – 100 мм). Влажность добываемой продукции во всех случаях составляла 80,2–80,9 %.

Сушку добываемой продукции осуществляли непосредственно на залежи, как в радиационно-конвективном режиме, так и в конвективном. В последнем случае для предотвращения попадания солнечных лучей на кусковой торф был сооружен специальный навес.

Технология получения АУ заключалась в следующем. Высушенный в полевых условиях кусковой торф дробили на фракции с линейным размером не более 10 мм. После отсея мелочи ($L < 1$ мм) материал помещали в печь карбонизации и выдерживали в среднем 2,5–3 ч при температуре 570 °C. Затем карбонизат дробили и высевали фракцию 1,0–3,5 мм. Активацию проводили в электропечи марки СУОЛ в среде перегретого водяного пара при температуре 900 °C.

Физико-технические характеристики АУ оценивали стандартными методами: влажность определяли по ГОСТ 12597 «Сорбенты». Метод определения массовой доли воды в активных углях и катализаторах на их основе», зольность – по ГОСТ 12596 «Угли активные. Метод определения массовой доли золы», насыпную плотность – по ГОСТ 16190 «Сорбенты. Метод определения насыпной плотности», прочность на истирание – по ГОСТ 16188 «Сорбенты. Прочность на истирание». Сорбционные свойства АУ определяли по ГОСТ 4453 «Уголь активный осветляющий» (адсорбционная активность по метиленовому голубому) и ТУ 6-16-2409-80 «Уголь активный УАФ» (адсорбционная активность по иоду) на фотоэлектрическом концентрационном калориметре КФК-2ПМ.

¹ В научно-технической литературе сформованный торф с начальным диаметром 60 мм и менее принято считать мелкокусковым.

Все эксперименты проводили с пятикратной повторностью.

Для проверки достоверности различий серий экспериментов осуществлена статистическая обработка полученных данных и рассчитаны экспериментальные значения критерия Стьюдента. Для уровня значимости 0,05 табличное критическое значение $t_{\alpha} = 2,306$.

Результаты и их обсуждение. Как и следовало ожидать, скорость сушки кускового торфа диаметром 40 мм значительно выше аналогичного показателя куска диаметром 100 мм (рис. 1, 2). Уже через 12 суток после добычи при радиационно-конвективном режиме средняя влажность кускового торфа диаметром 40 мм достигла значения 23,1 %, в то время как влажность кускового торфа диаметром 100 мм за этот промежуток времени снизилась до 43,7 %. При конвективном режиме сушки влажность куска диаметром 40 мм за 12 суток достигла 32,3 % (рис. 1, 2).

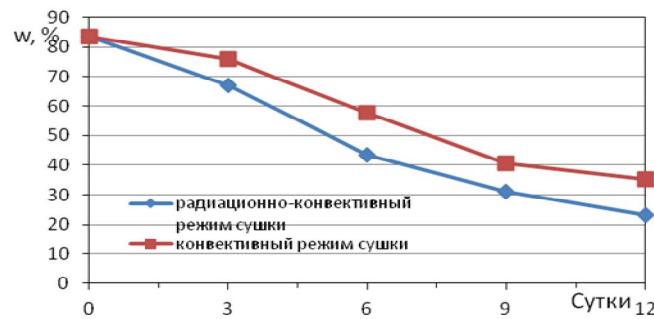


Рис. 1. Изменение влажности кускового торфа диаметром 40 мм во времени при различных режимах сушки

Fig.1. The change in moisture content of sod peat with a diameter of 40 mm over time during different regimes of drying

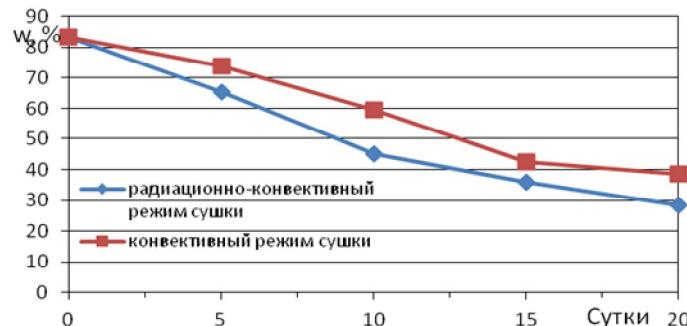


Рис. 2. Изменение влажности кускового торфа диаметром 100 мм во времени при различных режимах сушки

Fig. 2. Moisture variation of lump peat with a diameter of 100 mm over time during different regimes of drying

Как уже отмечалось выше, условия сушки и диаметр кускового торфа существенно влияют на его качественные характеристики, а в последствии и на качество АУ. В связи с этим было изучено влияние условий формования и сушки кускового торфа на их насыпную плотность и прочность на сжатие. Полученные результаты представлены в табл. 1, анализ данных которой показывает, что сушка торфа в условиях конвективного режима способствует увеличению его насыпной плотности по сравнению с сушкой в радиационно-конвективном режиме; при этом влияние условий сушки более выражено для кускового торфа диаметром 100 мм. Различие насыпной плотности кускового торфа диаметром 40 и 100 мм объясняется более плотной структурой при формировании торфяной массы через мундштуки меньшего диаметра, а также наличием значительного количества трещин в куске диаметром 100 мм при радиационно-конвективном режиме сушки, в результате чего насыпная плотность готовой продукции снижается.

При оценке влияния начального диаметра кускового торфа на его насыпную плотность выявлено существенное различие сравниваемых данных. Так, значение экспериментального критерия Стьюдента t_s , при сравнении насыпной плотности кускового торфа различного диаметра, подвергнутого сушке в радиационно-конвективном режиме, составило $t_s = 19,606$, а в конвективном — $t_s = 23,799$, т. е. в последнем случае начальный диаметра куска торфа оказывает еще более существенное влияние на его насыпную плотность.

Таблица 1. Влияние условий сушки кускового торфа на его насыпную плотность и прочность**Table 1. The effect of drying conditions of lump peat on its bulk density and strength**

Показатель	Диаметр куска, мм	Режим сушки	Среднее значение	t-критерий
Насыпная плотность, кг/м ³	40	Радиационно-конвективный	420,0 ± 3,8	4,456
		Конвективный	429,0 ± 2,2	
	100	Радиационно-конвективный	358,0 ± 5,9	7,609
		Конвективный	382,0 ± 3,8	
Прочность на сжатие, МПа	40	Радиационно-конвективный	2,9 ± 0,19	4,671
		Конвективный	3,5 ± 0,21	
	100	Радиационно-конвективный	2,5 ± 0,16	5,534
		Конвективный	3,2 ± 0,23	

Прочность кускового торфа, высушенного в условиях конвективного режима выше, чем при радиационно-конвективном режиме (см. табл. 1). При «мягком» режиме сушки, практически до уборочной влажности, количество испаренной влаги с поверхности куска равно количеству влаги, поступающей из центральных слоев, т. е. градиенты влагосодержания малы или вообще отсутствуют. При «жестком» (радиационно-конвективном) режиме торф в верхних слоях куска обезвоживается быстрее, чем в центральных, в связи с чем происходит неравномерное уменьшение объема куска по зонам, что приводит к возникновению усадочных напряжений. В результате появляются трещины, и прочность куска резко снижается. Усадочные напряжения зависят в конечном итоге от перепадов влагосодержания по толщине куска [5].

Таким образом, анализ выполненных исследований показал, что на насыпную плотность и прочность кускового торфа, в пределах исследуемых диаметров куска 40 и 100 мм, условия сушки и размеры окускованной продукции оказывают существенное влияние. Во всех случаях экспериментальное значение критерия Стьюдента превышало табличное.

Следует отметить, что конструктивно добывающие машины КТД-1 и МКТ-12 выполнены с постоянной частотой вращения дисковой фрезы и формующего шнека, в связи с чем управлять степенью переработки торфяной массы не представляется возможным. Единственным способом повысить прочность и насыпную плотность кускового торфа остается формование кусков диаметром 40 мм. Необходимо уточнить, что здесь не рассматривается вариант, когда в экскавируемую торфяную массу вносятся специальные добавки, значительно повышающие прочность куска, а в последствии и прочность активируемых углей.

Для установления влияния режимов сушки и диаметра куска на качественные характеристики торфяных АУ на лабораторной установке были наработаны образцы АУ. Характеристика полученных АУ представлена в табл. 2.

Таблица 2. Характеристика торфяных активированных углей**Table 2. Characteristics of peat activated carbon**

Диаметр куска, мм	Режим сушки	Степень обгара, %	Насыпная плотность, г/дм ³	Прочность на истирание, %	Адсорбционная активность			
					метиленовому голубому		иоду	
					%	мг/г	%	мг/г
40	Радиационно-конвективный	69,0	187	41,4	70	262,5	73	926,4
	Конвективный	67,0	192	46,6	72	270,0	74	939,0
100	Радиационно-конвективный	66,3	133	24,3	51	191,3	53	672,6
	Конвективный	64,7	152	29,7	55	206,3	61	774,1

Анализ данных таблиц показывает, что АУ, полученный из кускового торфа диаметром 40 мм, при степени обгара более 60 % проявляет высокую адсорбционную активность как по метиленовому голубому, так и по иоду. Однако прочность на истирание их недостаточна. Большие слои АУ в адсорбционных аппаратах (высота слоя – 1 м и более), а также интенсивные режимы в аппаратах движущегося или «кипящего» слоя требуют повышения прочности АУ до 70–75 % по ГОСТ 16188-70. Кроме того, АУ имеют сравнительно высокую стоимость, поэтому в настоящее время практически всегда используют регенерацию гранулированных и дробленых углей, преимущественно термиче-

скую, обрабатывая угли при температуре 800–950 °С в атмосфере перегретого водяного пара, для чего необходимо, чтобы прочность на истирание углей была не менее 70 % [8].

Дальнейшие наши опыты показали (табл. 3), что увеличение степени обгара с 15 до 50 % уменьшает прочность на истирание торфяных АУ в 1,9 раза. При степени обгара 15 % прочность на истирание торфяных АУ приближается к достаточной (67,4 %), однако по адсорбционной активности значения не соответствуют ГОСТ 6217-74. Адсорбционная активность по метиленовому голубому, даже при степени обгара 50 %, еще низка (46 %), а по иоду уже достаточно велика (63 %). Это свидетельствует о том, что при малых степенях обгара АУ паровой активации обладают довольно развитой системой микропор, а мезопоры еще не образовались в необходимом количестве.

Таблица 3. Показатели качества торфяных активированных углей в зависимости от степени обгара

Table 3. The indicators of the quality of peat activated coals in dependence from the degree of burning

Степень обгара, %	Прочность на истирание, %	Адсорбционная активность, %	
		по метиленовому голубому	по иоду
15	67,4	17	42,1
35	59,3	25	50,2
40	54,7	32	57,4
50	35,6	46	63,0

АУ из кускового торфа, добытого в производственных условиях машиной МТК-12 с диаметром мундштука 100 мм, обладают невысокими значениями насыпной плотности и прочности, меньшими показателями микропористой и мезопористой структуры по сравнению с АУ, полученными из куска диаметром 40 мм. Особенно это заметно при сушке кускового торфа в условиях радиационно-конвективного режима, когда кусок получается более рыхлым в результате появления значительного количества трещин, что негативно сказывается на качестве произведенных из него АУ.

Ниже приведены средние показатели АУ из кускового торфа диаметром 40 мм в сравнении с БАУ, изготовленным на основе древесного угля-сырца (табл. 4).

Таблица 4. Показатели качества активированных углей

Table 4. Quality indicators of activated carbon

Показатель	Метод испытания	Марка активного угля	
		Торфяной	БАУ-А (ГОСТ 6217-74)
Насыпная плотность, г/дм ³	ГОСТ 16190-70	190	Не более 240
Прочность на истирание, %	ГОСТ 16188-70	44,0	Не менее 60,0
Массовая доля золы, %	ГОСТ 12596-67	6,06*	Не более 6,00
Суммарный объем пор по воде, см ³ /г	ГОСТ 17219-71	1,32*	Не менее 1,60
Объем микропор, см ³ /г	ОСТ В6-16-28-1652-2002	0,25*	0,22–0,25
Адсорбционная активность по иоду, %	ГОСТ 6217-74	66,5*	Не менее 60,0

* Анализ выполнен в лаборатории НПО «Неорганика» г. Электросталь, Россия.

Как следует из данных табл. 4 торфяной АУ практически идентичен углю БАУ-А как по пористой структуре, так и по адсорбционным свойствам. Классическим методом увеличения прочности АУ с сохранением адсорбционных свойств является использование связующих компонентов.

Заключение. При улучшении некоторых показателей качества АУ и соответствии их требованиям, предъявляемым к углям марки БАУ, широко применяемым в промышленности России, АУ будет эффективен в жидкофазных адсорбционных процессах, таких как очистка питьевой воды, очистка сточных вод от органических токсикантов, очистка технологических растворов в пищевой и химико-фармацевтической промышленности. Его можно применять в агропромышленном комплексе для детоксикации почв от остатков пестицидов, кормов и комбикормов в птицеводстве и животноводстве. Такой углеродный адсорбент также перспективен для удаления радионуклидов из почв, подвергнутых заражению в результате аварии на Чернобыльской АЭС.

Список используемых источников

1. Чистый, И. Н. Производство гранулированного торфа / И. Н. Чистый. – Минск : Наука и техника, 1980. – 144 с.
2. Лецко, А. П. Исследование механической переработки торфа-сырца / А. П. Лецко // Комплексное использование торфа. – М. ; Л., 1965.
3. Воларович, М. П. Изучение механизма сушки и процессов структурообразования в торфяных системах // Физико-химическая механика дисперсных структур / М. П. Воларович, Н. И. Гамаюнов, И. И. Лиштван. – М., 1966. – С. 351–355.
4. Солодухо, Н. М. Исследование влияния режима механической переработки торфа на его свойства : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н. М. Солодухо. – Минск, 1967.
5. Антонов, В. Я. Технология полевой сушки торфа / В. Я. Антонов, Л. М. Малков, Н. И. Гамаюнов. – М. : Недра, 1981. – 239 с.
6. Костюк, Н. С. Производство мелкокускового торфа / Н. С. Костюк, Ф. С. Яцевич. – Минск : Наука и техника, 1975. – 136 с.
7. Лазарев, А. В. Технология производства торфа / А. В. Лазарев. – М. : Недра, 1974. – 320 с.
8. Угли активные : каталог / сост. С. Л. Глушаков, В. В. Коноплева, Н. Г. Любченко. – Чебоксары, 1983. – 17 с.

References

1. Chisty I. N. *Proizvodstvo granulirovannogo torfa* [Production of granular peat]. Minsk, 1980, 144 p. (in Russian)
2. Lecko A. P. *Issledovanie mehanicheskoy pererabotki torfa-syryca* [The study of the mechanical processing of raw peat]. V kn. : Komplexnoe ispolsovanie torfa [In the book 'Complex use of peat']. Moscow–Leningrad, 1965. (in Russian)
3. Volarovich M. P., Gamajunov N. I., Lishtvan I. I. *Izuchenie mehanizma sushki I processov strukturoobrazovaniya v torfyanyh sistemah* [Study of the drying mechanism and structure formation processes in peat systems]. *Fiziko-himicheskaja mehanika dispersnyh sistem* [Physico-chemical mechanics of dispersed structures]. Moscow, 1966, pp. 351–355. (in Russian)
4. Soloduho N. M. *Issledovanie vlijanija regima mehanicheskoy pererabotki torfa na ego svojstva* [Study of the effect of the regime of mechanical processing of peat on its properties]. Autoref. Diss. cand. tech. sci. Minsk, 1967. (in Russian)
5. Antonov V. Ja., Malkov L. M., Gamajunov N. I. *Tehnologija polevoj suchki torfa* [Peat field drying technology]. Moscow, 1981, 239 p. (in Russian)
6. Kostjuk N. S., Jacevich F. S. *Proizvodstvo melkokuskovogo torfa* [Small piece peat production]. Minsk, 1975, 136 p.
7. Lazarev A. V. *Tehnologija proizvodstva torfa* [Peat production technology]. Moscow, 1974, 320 p. (in Russian)
8. *Ugli aktivnye: catalog* [Active coals: catalog]. Comp. Glushakov S. L., Konopleva V. V., Lyubchenko N. G. Cheboksary, 1983, 17 p. (in Russian)

Информация об авторах

Кунцевич Виктор Болеславович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

Томсон Алексей Эммануилович – кандидат химических наук, заместитель директора по научной работе, заведующий Центром по торфу и сапропелям, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: altom@nature-nas.by

Макаренко Татьяна Ивановна – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: Makarenko.ip@mail.ru

Царюк Татьяна Яковлевна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: tsariuk9@mail.ru

Булгакова Нина Андриевна – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь)

Information about the authors

Victor B. Kuntsevich – Ph. D. (Technical), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by

Aleksey E. Tomson – Ph. D (Chemistry), Assistant Professor, Deputy Director, Head of the Centre for the Peat and Sапропель, Head of Lab. of Ecotechnology, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: altom@ nature-nas.by

Tatiana I. Makarenko – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: Makarenko.ip@mail.ru

Tatiana Ya. Tsariuk – Ph. D. (Technical), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: tsariuk9@mail.ru

Nina A. Bulgakova – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus)

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ ГУМИНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ СТИМУЛИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОРМОВОЙ БАЗЫ РЫБ

**Г. В. Наумова¹, С. Н. Пантелеев², Т. Ф. Овчинникова¹ Н. А. Жмакова¹,
Н. Л. Макарова¹, А. А. Макеенко¹, В. Д. Сенникова²**

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

²*Институт рыбного хозяйства, Минск, Беларусь*

Аннотация. В статье обсуждаются вопросы эффективного использования твердых отходов производства гуминовых препаратов. Приведены данные о составе, свойствах и количестве гуматсодержащих твердых остатков, ежегодно образующихся на предприятиях Беларуси. Представлены результаты изучения токсичности твердых остатков от производства гуминовых препаратов Гидромуват, Оксигумат, Оксидат торфа, Консил и оценке их влияния на продукционные показатели основных представителей пресноводных гидробиоценозов. Полученные данные свидетельствуют о возможности и перспективности использования этих остатков в прудовом рыбоводстве в качестве экологобезопасной биологически активной кормовой добавки, стимулирующей рост и развитие планктона водорослей и ракообразных, которые являются естественной кормовой базой рыб.

Ключевые слова: гуминовые препараты; гуматсодержащие остатки; токсикологические свойства; биологическая активность; гидробиоценоз; водоросли; ракообразные; рыбы.

Для цитирования. Наумова Г. В., Пантелеев С. Н., Овчинникова Т. Ф., Жмакова Н. А., Макарова Н. Л., Макеенко А. А., Сенникова В. Д. Перспективы использования твердых отходов гуминового производства для стимулирования развития естественной кормовой базы рыб // Природопользование. – 2020. – № 1. – С. 144–154.

PROSPECTS FOR THE USE THE SOLID WASTE OF HUMIC PRODUCTION FOR THE STIMULATION OF THE DEVELOPMENT OF NATURAL FISH FOOD SUPPLY

**G. V. Naumova¹, S. N. Panteley², T. F. Ovchinnikova¹ N. A. Zhmakova¹,
N. L. Makarova¹, A. A. Makeenko¹, V. D. Sennikova²**

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

²*Institute of Fisheries, Minsk, Belarus*

Abstract. The article discusses the effective use of the solid waste production of humic preparations. The data on the composition, properties and quantity of humate-containing solid residues produced annually at Belarusian enterprises are presented. The results of laboratory studies on the study of the toxicity of solid residues from the production of Hydrohumate, Oxyhumate, Peat Oxidate, Consil humic preparations and the assessment of their impact on the production performance of the main representatives of freshwater hydrobiocenoses. The data obtained indicate the possibility and prospects the use of these residues in pond fish farming as an environmentally safe biologically active feed additive that stimulates the growth and development of planktonic algae and crustaceans, which are the natural food base of fish.

Keywords: humic preparations; humate-containing residues; toxicological properties; biological activity; hydrobiocenosis; algae; crustaceans; fish.

For citation. Naumova G. V., Panteley S. N., Ovchinnikova T. F., Zhmakova N. A., Makarova N. L., Makeenko A. A., Sennikova V. D. Prospects for the use the solid waste of humic production for the stimulation of the development of natural fish food supply. *Nature Management*, 2020, no. 1, pp. 144–154.

Введение. В Институте природопользования НАН Беларусь многие годы ведутся научно-исследовательские и технологические работы по получению биологически активных гуминовых препаратов на основе торфа. Разработаны и предложены для использования в сельском хозяйстве эффективные экологически безопасные регуляторы роста растений гуминовой природы Гидромуват, Оксигумат, Оксидат торфа, консерванты кормов Гумоплюс и Консил, биологически активные кормовые добавки Гумосил, Эколин и др.

Гуминовые препараты получают путем окислительно-гидролитической деструкции торфа, что позволяет активизировать его гуминовый комплекс и перевести в растворимое состояние биологически активные соединения исходного сырья. При этом в препарат переходит до 80 % органических веществ торфа.

Отходом производства является твердый остаток. При получении 1 т гуминового препарата в зависимости от технологии производства образуется от 120–320 кг остатка влажностью 75–80 %.

Так как технологией производства не предусмотрено дополнительное промывание остатков водой, они содержат значительное количество ценных биологически активных компонентов, входящих в состав гуминовых препаратов. До 30 % их органической массы представлено активированными гуминовыми веществами, 10–13 % – карбоновыми кислотами, 0,1–0,2 % – аминокислотами, 20–31 % – углеводами и 20–25 % – лигнином. Минеральная часть, которая составляет 15–20 % сухого вещества остатков, представлена широким спектром макро- и микроэлементов. Несмотря на то, что твердые остатки от производства гуминовых препаратов содержат ценные органические и минеральные компоненты, они до сих пор не нашли достойного применения.

Большинство разработанных гуминовых препаратов в настоящее время производятся на опытно-промышленных установках ЗАО «Юнатекс», ЧПУП «ЧервеньАГРО» в Минской области, ЗАО «Белнефтесорб» в Гомельской области, ООО «Фермент» в Брестской области. Общий объем выпуска гуминовых препаратов в Беларусь составляет около 2000 т/год. При этом ежегодная потребность в них только в растениеводстве, учитывая посевные площади и расходные показатели, достигает 15 тыс. т. В настоящее время в республике намечается создание крупного производства по глубокой комплексной переработке торфа, где предусмотрено строительство цеха по выпуску гуминовых препаратов различного назначения, что позволит удовлетворить потребность в них республики. При этом остро встанет вопрос об утилизации твердых отходов производства.

Одним из направлений эффективного использования данных отходов может стать рыбоводство.

Производство рыбы в Беларусь сосредоточено на 28 предприятиях, в распоряжении которых находятся 20,5 тыс. га прудовых площадей, 20 тыс. м² садков и бассейнов, 40 тыс. га озер и 2,5 тыс. км рек. Наиболее перспективным и эффективным с экономической, рыбоводной и экологической точек зрения является прудовое рыбоводство. В будущем его доминирующее положение только усилится, поскольку это наиболее конкурентоспособная в рыночных условиях форма ведения рыбного хозяйства.

Рыбоводный пруд – искусственное сооружение с замедленным водообменом. Гидробиоценоз пруда формируется за счет организмов, попадающих в него с водой водоисточника и состоит из следующих компонентов:

продуценты – организмы, способные производить органические вещества из неорганических, автотрофные организмы. К ним относятся хемотрофные бактерии, цианопрокариоты, планктонные водоросли, погруженные или полупогруженные макрофиты (высшие растения). Эта группа организмов – единственный природный источник углерода и энергии для остальных обитателей водоема;

консументы – организмы, потребляющие готовые органические вещества. Они не способны разлагать органические вещества до неорганических. Консументы 1-го порядка питаются продуцентами биомассы (растительноядные). Это зоопланктон, зообентос, растительноядные рыбы. Консументы 2-го порядка – это гетеротрофные организмы, питающиеся за счет консументов 1-го порядка – хищный зоопланктон, зообентос, нектон. К этой группе относится основной объект прудового рыбоводства республики – карп. Консументы 3-го порядка питаются за счет консументов 2-го порядка – хищный зообентос, нектон. Сюда можно отнести щуку, европейского сома. Консументы 4-го, 5-го порядков в природе крайне редки;

редуценты – это организмы, которые преобразуют мертвую органику в минеральные и простейшие органические соединения (углекислота, аммиак, мочевина, сероводород), делая их доступными для продуцентов и тем самым замыкая круговорот. Они представлены в основном бактериями.

Эти группы организмов образуют трофическую сеть, определяющую направление потоков вещества и энергии в биоценозах. При переносе энергии от звена к звену в виде теплоты и работы теряется более 80 % потенциальной энергии.

Природная продуктивность как способность гидробиоценоза водоема обеспечивать в течение одного вегетационного сезона определенный прирост рыбы с единицы площади характеризуется, как правило, невысокими величинами (1,0–1,5 ц/га по карпу). Поэтому в настоящее время в тепловодных прудовых хозяйствах Беларусь в основном осуществлен переход к интенсивной форме хозяйствования, которая позволяет получать более 2 т/га рыбопродукции.

Относительная замкнутость экосистем рыбоводческих прудов дает возможность влиять на их продуктивность, достигая более или менее продолжительных результатов. Простейший подход – увеличение плотности посадки карпа и полнорационное кормление концентрированными кормами. Таким образом, можно поднять рыбопродуктивность до 2,5 т/га, в отдельных случаях – до 3 т/га. При этом рецептура традиционно использующихся в карповодстве концентрированных кормов (К-110, К-111) рассчитана на то, что в рацион рыбы входит естественная пища (более 30 % для сеголетков

и не менее 10 % для двух- и трехлетков). Это позволяет сбалансировать питание рыбы по незаменимым аминокислотам и другим биологически активным веществам. Недостаток естественной пищи приводит к перерасходу концентрированных кормов, отставанию рыбы в росте, слабой подготовленности сеголетков к зимовке.

Таким образом, для интенсификации прудового рыбоводства в условиях Беларуси первостепенное значение имеет поддержание естественной кормовой базы на уровне, обеспечивающем не менее 2 ц/га рыбопродуктивности по товарной рыбе и 6 ц/га по сеголетку.

Для сохранения нормативных затрат кормов и темпа роста рыбы используют специальные мелиоративные агротехнические приемы:

органическое удобрение прудов навозом, компостами, органическими отходами пищевых производств. Это опосредованный источник биогенов для продуцентов и субстрат для бактерий, которые являются кормом для консументов 1-го порядка;

минеральное удобрение аммиачной селитрой, карбамидом, полифосфатами, калийными рудами. Это непосредственный источник биогенов для продуцентов;

известкование, которое необходимо при избыточной кислотности грунтов. При этом фосфор, связанный засыпями переходных металлов, становится более доступным для компонентов гидробиоценоза.

Все эти мероприятия, особенно минеральное удобрение, а в последнее время и органическое, требуют значительных финансовых затрат, что уменьшает рентабельность.

Одним из выходов из сложившегося положения является использование распространенных отходов и вторичных ресурсов, например, органических отходов пищевой промышленности. Однако в последнее время они нашли широкое применение в животноводстве и других биотехнологических процессах, что увеличило их стоимость и снизило доступность. Поэтому поиск новых субстратов, источников питательных и биологически активных веществ для прудового рыбоводства является одной из актуальных задач.

Многолетние исследования гуминовых препаратов, проведенные в животноводстве, птицеводстве, ветеринарии и рыбоводстве [1–10], убедительно доказывают эффективность их применения в качестве биологически активных кормовых добавок, которые активизируют энергетические и обменные процессы в организме животных, корректируют последствия недостаточного и несбалансированного кормления, улучшают иммунный статус и общее состояние организма, а также повышают его устойчивость к токсическим воздействиям. В результате у животных увеличиваются привесы, снижаются заболеваемость и смертность, что значительно повышает их продуктивность. Поэтому использование остатков от производства биологически активных препаратов гуминовой природы, которые содержат активизированные гуминовые вещества, широкий спектр других биологически активных соединений природного происхождения, а также биогенные макро- и микроэлементы, может стать одним из перспективных и малозатратных способов увеличения рыбопродуктивности водоемов, в том числе и за счет стимулирования развития компонентов естественной кормовой базы рыб.

Цель работы – оценить токсичность твердых остатков от производства гуминовых препаратов и их влияние на производственные показатели основных компонентов пресноводных гидробиоценозов в лабораторных опытах.

Объекты и методы исследования. Для проведения исследований в октябре 2018 г. на промышленных установках ЧПУП «ЧервеньАГРО», ЗАО «Юнатекс» и ООО «Фермент», осуществляющих выпуск биологически активных гуминовых препаратов Гидрогумат, Оксигумат, Оксидат торфа и Консил, были отобраны образцы (по 20 кг) твердых остатков, образующихся в процессе их производства.

Все образцы охарактеризованы по основным физико-химическим показателям.

Содержание массовой доли влаги, сухих и органических веществ определяли в соответствии с установленвшейся практикой.

Токсичность твердых остатков от производства гуминовых препаратов и их влияние на производственные показатели основных компонентов пресноводных гидробиоценозов исследованы в лаборатории прудового и индустриального рыбоводства РУП «Институт рыбного хозяйства» НАН Беларуси на модельных системах.

Токсикологические исследования проводили в соответствии с действующими методическими указаниями и рекомендациями [11–17].

Поскольку организмы, населяющие гидробиоценоз, обладают разной чувствительностью к химическим веществам, в биотестировании использовали одновременно два тест-объекта, представляющие разные трофические группы водной экосистемы. В качестве тест-объекта из ракообразных выбран ракушка *Moina macrocopa*, культуры которого отличаются стабильными производственными показателями в температурном диапазоне 18–25 °C. Для токсикологических исследований на рыбах использовали лабораторную культуру гуппи *Poecilia reticulata* из коллекции института. Численность тест-объектов в каждом варианте опытов составляла по 100 ракушек и по 10 рыб.

Тест-субстратами служили пять концентраций (0,1; 1,0; 10,0; 100,0 и 1000,0 мг) тестируемого остатка. Контроль: питьевая водопроводная вода. В качестве оборудования использовали Климато-

стат КС-200. Условия проведения испытаний: температура 20–21 °C (для каждого теста в пределах регламентируемого), влажность 23–28 %, давление 739–749 мм рт. ст.)

Метод оценки острой токсичности на рыбах основан на определении числа погибших особей при воздействии различных концентраций исследуемых веществ в сравнении с контрольной культурой после 96-часовой экспозиции. Оценочный показатель острой токсичности для рыб – летальная концентрация ЛК₅₀ при 96-часовом воздействии, при которой погибает 50 % особей [11].

В основе метода оценки острой водной токсичности на ракообразных лежит определение их иммобилизации (потеря подвижности) при воздействии исследуемых веществ, присутствующих в исследуемой водной среде в диапазоне концентраций, по сравнению с контролем после [12, 13].

Оценочный показатель острой токсичности на ракообразных – эффективная концентрация ЭК₅₀ при 48-часовом воздействии, т. е. концентрация, при которой наступает иммобилизация 50 % раков.

Полученные результаты статистически обрабатывали методами, широко используемыми в экспериментальной токсикологии.

Класс опасности и токсичности препаратов определяли в соответствии с действующими нормативными документами [15–17].

Влияние твердых остатков от производства гуминовых препаратов на производственные показатели модельных компонентов гидробиоценозов исследовали по общепринятым в гидробиологии методикам [18–20].

Статистическую обработку данных (средние значения, стандартное отклонение, ошибка среднего) проводили инструментами Microsoft Excel. Достоверность приведенных данных – 75,0–99,5%.

Тест-объектом при изучении влияния исследуемых остатков на развитие продуцентов пресноводных водоемов служили одноклеточные водоросли *Scenedesmus quadricauda*. Их культивировали в течение 5 сут под искусственным освещением (холодным белым) светом светодиодных ламп в режиме 14 ч освещения и 10 ч темноты. Температуру поддерживали аквариумными нагревателями на уровне 22–23 °C. Подачу атмосферного воздуха осуществляли аквариумными компрессорами. Первоначальная концентрация водорослей составляла 25 мг/л. В качестве культуральной среды использовали стандартную среду Тамия, в которую добавляли остатки от производства гуминовых препаратов, контроль культивировался только на стандартной среде.

Влияние гуматсодержащих остатков на консументов 1-го порядка гидробиоценозов изучали в модельных системах, составленных из низших двустворчатых планктонных ракообразных из надотряда ветвистоусых рода *Moima* и крупных зеленых планктонных водорослей родов *Scenedesmus* и *Ankistrodesmus*, которые служили кормом для раков и активно ими выедались. Через 5 дней опыта, как в донных отложениях, так и в толще воды, регистрировались только единичные клетки водорослей.

В экспериментах использована синхронизированная лабораторная тест-культура *Moima macropora* из рабочей коллекции института в возрасте 24 ч.

Системы освещали искусственным (холодным белым) светом светодиодных ламп в режиме 14 ч освещения и 10 ч темноты. Температуру поддерживали аквариумными нагревателями на уровне 22–23 °C. Протяженность каждого опыта составляла 5 сут, что чуть более периода созревания новорожденных особей. Таким образом, оценивали действие препарата как непосредственно на организмы ракообразных, так и на темпы их регенерации.

Плотность посадки раков составляла в начале опыта 100 экз/л. Культуру водорослей вносили до создания концентрации 30 мг/л, что соответствует оптимуму развития фитопланктона в прудах. Гуматсодержащие остатки использовали в дозах 50–200 мг/л в предварительно супензированном виде. Через 5 сут определяли биомассу раков в вариантах.

В качестве консументов 2-го порядка в опытах использованы сеголетки карпа – основного объекта прудового рыбоводства. Опыты проводили в 40-литровых аквариумах при плотности посадки 1 экз/10 л (средняя масса – 29,4 г). Для кормления использовали карповый комбикурм К-111 из расчета 5 % массы рыбы в сутки. Ежесуточно проводили подмену 25 % воды с эквивалентной добавкой препарата.

Результаты и их обсуждение. Образцы твердых остатков, отобранные на промышленных установках по производству гуминовых препаратов, представляют собой однородную, пастообразную массу темно-коричневого цвета со специфическим запахом щелочки или аммиака в случае остатка Оксидата торфа. Физико-химические свойства твердых остатков приведены в табл. 1.

Все остатки характеризуются высокой влажностью, которая составляет от 78 до 85 %. Их плотность колеблется в небольших пределах от 1,08 до 1,13 г/см³, а водные вытяжки имеют щелочную реакцию среды (рН от 8,8 до 9,0).

На долю органических веществ в остатках, образующихся при производстве препаратов Консил, Оксигумат и Гидрогумат, приходится от 15,04 до 16,20 % или 79, 78 и 75 % в расчете на их сухое вещество соответственно.

Таблица 1. Физико-химическая характеристика твердых остатков, образующихся при производстве гуминовых препаратов**Table 1. Physical and chemical characteristics of solid residues formed in the production of humic preparations**

Показатель	Остаток от производства препарата			
	Гидромуат	Оксигумат	Оксидат торфа	Консил
Массовая доля влаги, %	78,32	80,73	85,12	81,00
Массовая доля сухих веществ, %	21,68	19,27	14,88	19,00
Массовая доля органических веществ, %	16,20	15,04	9,79	15,01
Массовая доля минеральных веществ, %	5,48	4,23	5,09	3,99
pH водной вытяжки	9,00	8,82	8,89	8,84
Плотность, г/см ³	1,11	1,12	1,08	1,13

Количество органических веществ в остатке от производства Оксидата торфа заметно ниже – 9,79 %, что составляет 69 % от общего содержания в нем сухих веществ.

На минеральную составляющую в исследуемых остатках приходится от 3,99 до 5,48 %, или 21–31 % сухого вещества.

Так как остатки предполагается использовать в качестве биологически активных добавок для обитателей водоемов, исследована их растворимость в воде.

В процессе многократного промывания остатков водой в раствор переходит до 45 % сухих веществ у остатка Гидромуата и около 60 % сухих веществ других остатков. При этом в нерастворимой части остатка от производства Гидромуата остается более 72 % общего содержания минеральных веществ, тогда как у других – 44–45 %. На долю минеральных веществ в нерастворимой части остатка Гидромуата приходится около 60 % сухих веществ, а у других остатков – 30–38 %. Это свидетельствует о том, что остаток от производства Гидромуата содержит значительно больше нерастворимых или труднорастворимых в воде минеральных соединений, чем другие остатки.

Исследования эффективности применения отходов производства гуминовых препаратов для стимулирования развития компонентов естественной кормовой базы рыб начаты с изучения их токсичности для обитателей пресноводных гидробиоценозов.

В качестве тест-организмов использовали двух представителей различных трофических групп водной экосистемы – рака *Moina macropora* и рыб гуппи *Poecilia reticulata*. Диапазон исследованных концентраций – от 0,1 до 1000 мг/л.

Результаты исследований по оценке острой водной токсичности твердых отходов от производства гуминовых препаратов приведены в табл. 2 и 3.

Как видно из представленных данных, иммобилизация раков и смертность рыб в контрольных вариантах опытов не превышали 10 %, что служит критерием качества исследований и достоверности результатов.

Полученные данные свидетельствуют, что летальная концентрация ($ЛК_{50-96}$) исследованных остатков для рыб и их эффективная концентрация ($ЭК_{50-48}$) для ракообразных находятся за пределами диапазона исследованных в опыте концентраций, т. е. $ЛК_{50-96} > 1000$ мг/л и $ЭК_{50-48} > 1000$ мг/л.

Таблица 2. Острая токсичность остатков производства Гидромуата, Оксигумата, Оксидата торфа, Консила для раков *Moina macropora* (однократное внесение)**Table 2. Acute toxicity of residues of production of Hydrohumate, Oxyhumate, peat Oxidate, Consil for crustaceans *Moina macropora* (single application)**

Концентрация остатка в среде, мг/л	Иммобилизация раков в эксперименте*															
	Остаток от Гидромуата				Остаток от Оксигумата				Остаток от Оксидата торфа				Остаток от Консила			
	24 ч		48 ч		24 ч		48 ч		24 ч		48 ч		24 ч		48 ч	
	экз.	%	экз.	%	экз.	%	экз.	%	экз.	%	экз.	%	экз.	%	экз.	%
0,1	1	1	3	3	1	1	4	4	3	3	5	5	1	1	1	1
1,0	3	3	5	5	2	2	5	5	4	4	7	7	0	0	1	1
10,0	2	2	3	3	2	2	7	7	3	3	5	5	1	1	3	3
100,0	1	1	6	6	3	3	5	5	7	7	10	10	3	3	5	5
1000,0	3	3	4	4	7	7	9	9	8	8	9	9	4	4	5	5
Контроль	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	4	4

* Число раков в каждом варианте – 100 экз.

Таблица 3. Острая токсичность остатков от производства Гидрогумата, Оксигумата, Оксидата торфа, Консила для рыб *Poecilia reticulata* (однократное внесение)**Table 3. Acute toxicity of residues from the production of Hydrohumate, Oxyhumate, peat Oxidate, preservative feed Consil for fish *Poecilia reticulata* (single application)**

Концентрация остатка в среде, мг/л	Смертность рыб*							
	Остаток от Гидрогумата		Остаток от Оксигумата		Остаток от Оксидата торфа		Остаток от Консила	
	экз.	%	экз.	%	экз.	%	экз.	%
0,1	0	0	0	0	0	0	0	0
1,0	1	10	0	0	1	0	0	0
10,0	0	0	0	0	0	0	0	0
100,0	0	0	0	0	0	0	0	0
1000,0	0	0	0	0	1	10	1	10
Контроль	1	10	0	0	0	0	0	0

* Число рыб в каждом варианте – 10 экз.

Такие вещества, согласно государственной [16] и международной [15] системам классификации опасности для окружающей среды и маркировки химической продукции, можно отнести к практически не токсичным для водной среды.

Эффективность использования гуматсодержащих остатков для повышения продуктивности основных компонентов пресноводных водоемов оценивали в лабораторных опытах. Результаты исследований, проведенных на культуре одноклеточных водорослей *Scenedesmus quadricauda* – одного из наиболее эффективных продуцентов пресноводных гидробиоценозов, представлены в табл. 4.

Таблица 4. Влияние гуматсодержащих твердых остатков на изменение концентрации культуры водорослей *Scenedesmus quadricauda* (продолжительность выращивания – 5 сут)**Table 4. The influence of humate-containing solid residues on the change in the concentration of algae culture *Scenedesmus quadricauda* (duration of cultivation – 5 days)**

Вариант опыта	Концентрация, мг/л		Повышение концентрации организмов относительно контроля	
	остатка	организмов	мг/л	%
Контроль	–	46,4	–	–
Остаток Гидрогумата	40	54,0	7,6	16,4
	60	54,8	8,4	18,1
	100	50,5	4,1	8,8
Остаток Оксигумата	40	51,3	4,9	10,6
	60	53,3	6,9	14,9
	100	49,3	2,9	6,3
Остаток Оксидата торфа	40	52,3	5,9	12,7
	60	53,3	6,9	14,9
	100	51,0	4,6	9,9
Остаток Консила	40	51,8	5,4	11,6
	60	54,3	7,9	17,0
	100	51,5	5,1	11,0

Испытания показали, что все исследуемые остатки оказывают стимулирующее действие на развитие одноклеточных водорослей. Так, в концентрации 40 мг/л они на 10,6–16,4 % увеличивают выход биомассы водорослей по сравнению с контрольным вариантом.

Максимальный эффект наблюдается при использовании препаратов в дозе 60 мг/л. В этих вариантах опыта концентрация водорослей в среде увеличивается на 14,9–18,1 %. Повышение дозы остатков до 100 мг/л ведет к снижению эффекта до 6,3–11,0 %.

Влияние остатков от производства гуминовых препаратов на производственные показатели консументов 1-го порядка гидробиоценозов изучали на модельных системах, включающих представителя планктона ракообразных – раков *Moina macrospora* и крупные зеленые планктонные водоросли родов *Scenedesmus* и *Ankistrodesmus*. В результате исследований выявлено стимулирующее действие всех остатков от производства гуминовых препаратов на развитие раков (табл. 5).

Таблица 5. Влияние гуматсодержащих твердых остатков на численность раков *Moina macrocara* (продолжительность опыта – 5 сут)

Table 5. Effect of humate-containing solid residues on the number of *Moina macrocara* crustaceans (duration of experiment – 5 days)

Вариант опыта	Концентрация остатка, мг/л	Численность раков, экз/л	Изменение численности раков относительно контроля	
			экз/л	%
Контроль	–	170	–	–
Остаток Гидрогумата	40	192	22	12,9
	60	484	314	184,7
	100	428	258	151,8
Остаток Оксигумата	40	270	100	58,8
	60	250	80	47,1
	100	240	70	41,2
Остаток Оксидата торфа	40	210	40	23,5
	60	192	22	12,9
	100	175	5	2,9
Остаток Консила	40	240	70	41,2
	60	198	28	16,5
	100	188	18	10,6

При оптимальной дозе внесения Гидрогумата (60 мг/л) прирост численности раков превышал контрольный показатель в 2,8 раза. Повышение концентрации остатка до 100 мг/л сопровождалось снижением эффекта, который все равно оставался значительным. Численность раков в варианте с максимальной дозой остатка Гидрогумата на 152 %, или в 2,5 раза больше, чем в контроле.

Для остатков Оксигумата, Оксидата торфа и Консила оптимальной оказалась доза 40 мг/л. Прирост численности раков в этих вариантах опыта составил от 23,2 до 58,7 % относительно контроля. В концентрациях, превышающих 60 мг/л, темп увеличения численности раков в системах для этих остатков был ниже.

Типичным консументом 2-го порядка является карп – один из основных объектов прудового рыбоводства. Так как работа с ним в лабораторных условиях затруднена из-за больших размеров взрослых особей, опыты проводили на сеголетках.

В каждом варианте опыта находилось по четыре особи со средней массой 29,4 г.

В результате проведенных исследований установлено, что при использовании всех твердых остатков в дозах 60 и 100 мг/л снижения численности сеголетков карпа в течение 14 сут не наблюдалось, поэтому преимуществ или недостатков тех или иных препаратов или их дозировок выявить не удалось. В связи с этим в конце опыта проведено контрольное взвешивание, которое выявило тенденцию к увеличению прироста массы тела рыб в вариантах с остатками от Гидрогумата, Оксигумата и Консила в дозах 60 мг/л (табл. 6).

Таблица 6. Влияние твердых остатков от производства Гидрогумата, Оксигумата, Оксидата торфа и Консила на изменение биомассы сеголетков карпа

Table 6. Influence of solid residues from the production of Hydrohumate, Oxyhumate, peat Oxidate and Consil on changes in the biomass of carp fingerlings

Вариант опыта	Концентрация остатка в среде, мг/л	Биомасса сеголетков карпа через 14 сут, г
Контроль	–	126,9
Остаток от Гидрогумата	60	129,0
	100	128,9
Остаток от Оксигумата	60	128,4
	100	128,0
Остаток от Оксидата торфа	60	126,7
	100	126,6
Остаток от Консила	60	128,9
	100	128,0

При более высоких концентрациях (100 мг/л) эффект сохранялся только для остатка от Гидрогумата. При этом можно утверждать, что заметного снижения темпов роста в случае применения остальных остатков в этой дозе не наблюдалось.

Таким образом, на основании результатов проведенных исследований можно утверждать, что все остатки обладают биологической активностью и могут быть использованы для стимулирования развития компонентов естественной кормовой базы рыб в прудах в дозах до 1 т/га. Однако в случае остатка от производства Оксидата торфа для однозначной интерпретации результатов опытов требуется проведение более продолжительных исследований.

Заключение. Анализ литературных источников, а также состава и свойств твердых остатков, образующихся при производстве гуминовых препаратов Гидрогумат, Оксигумат, Оксидат торфа и Консил, показал перспективность их использования в качестве биологически активной кормовой добавки в прудовом рыбоводстве.

В результате развернутых токсикологических исследований остатков, проведенных на двух основных представителях пресноводных гидробиоценозов – ракообразных и рыbach, установлено, что ни один из них не является токсичным для рыб ($ЛК_{50-96} > 1000$ мг/л) и ракообразных ($ЭК_{50-48} > 1000$ мг/л). Следовательно, все исследуемые остатки могут применяться как в выростных, так и в нагульных прудах в дозах до 1000 кг/га без опасности нарушения их функционирования.

Лабораторные исследования, проведенные на планктонных одноклеточных водорослях и модельных системах, включающих зеленые водоросли и планктонных ракообразных, показали, что все остатки обладают биологической активностью и оказывают стимулирующее действие на развитие обитателей пресноводных водоемов. Так, при использовании остатков в дозе 60 мг/л среды выход биомассы водорослей возрастает на 13–19 %. Численность раков за период опытов (5 сут) под влиянием остатка от Гидрогумата в дозах 60 и 100 мг/л увеличилась по сравнению с контролем в 2,5 и 2,8 раза соответственно. У других остатков максимальный эффект отмечен при дозе 50 мг/л. Численность раков в этих вариантах опыта на 4–40 % превышала контрольные показатели.

Опыты на сеголетках карпа, проведенные в течение 14 сут, также выявили тенденцию к увеличению их биомассы.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили возможность применения твердых остатков от производства гуминовых препаратов в качестве биологически активных добавок, стимулирующих развитие компонентов естественной кормовой базы рыб пресноводных водоемов.

Список использованных источников

- Бойко, В. П. Влияние биологически активных препаратов «Гидрогумат» и «Оксигумат» на иммунитет и обменные процессы у животных / В. П. Бойко [и др.] // Природопользование. – Минск, 1998. – Вып. 4. – С. 82–86.
- Заяц, В. Н. Действие физиологически активных веществ гуминовой природы на активизацию ферментов и параметры естественной резистентности высокопродуктивных коров / В. Н. Заяц [и др.] // Рациональное использование биоресурсов в АПК : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. / Владикавказ, 2008. – С. 104–107.
- Степченко, Л. М. Влияние гумата натрия на обмен веществ и резистентность высокопродуктивной птицы / Л. М. Степченко, Л. В. Жорина, Л. В. Кравцова // Биологические науки. – 1991. – № 10. – С. 90–95.
- Мельников, С. С. Влияние гидролизатов растительного происхождения на продуктивность водорослей и содержание пигментов / С. С. Мельников [и др.] // Регуляторы роста и развития растений в биотехнологии : материалы Междунар. конф. – М. : РСХА, 2001.– С. 178–179.
- Наумова, Г. В. Биологически активные препараты из торфа как добавки к корму рыб / Г. В. Наумова [и др.] // Сельское хозяйство, проблемы и перспективы : сб. тр. ГГАУ. – 2003. – Т. 1, ч. 1. – С. 205–208.
- Линник, В. Я. Продукты окислительно-гидролитической деструкции торфа как биологически активные добавки к корму рыб / В. Я. Линник [и др.] // Природопользование. – Минск, 1999. – Вып. 5. – С. 100–102.
- Огинова, И. А. Влияние физиологически активных гумусовых веществ на функциональное состояние и оплодотворяность икры и развитие личинки карпа / И. А. Огинова, А. И. Горовая // Гуминовые удобрения: Теория и практика их применения. – Днепропетровск : Изд-во ДСХИ, 1983. – С. 115–117.
- Сидоров, Н. А., Влияние препарата «Торфонит» на рост и выживаемость личинок канального сома / Н. А. Сидоров, Н. Н. Сазанова, О. А. Невеселая // Рыбохозяйственная наука Украины. – 2009. – № 1. – С. 60–63.
- Steinberg, C. E. W. Hormone like effects of humic substances on fish, amphibians, and invertebrates / C. E. W. Steinberg [et. al.] // Environmental toxicology. – 2004. – Vol. 19, № 4. – P. 409–411.
- Стом, Д. И. Комбинированное действие нефтепродуктов и «Гумата» на дафний / Д. И. Стом, А. В. Дагуров // Сибирский экологический журнал. – 2004. – № 1. – С. 35–40.
- ГОСТ 32473-2013. Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение острой токсичности для рыб. – М. : Стандартинформ, 2014. – 9 с.

12. ГОСТ 32536-2013. Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение острой токсичности для дафний. – М. : Стандартинформ, 2014.– 10 с.
13. Инструкция по применению № 093-1008 «Определение острой токсичности химических веществ, их смесей, природных и сточных вод методом биотестирования с применением ракообразных в качестве тест-объектов (*D. magna* и *C. Vidua»), утв. Главным государственным санитарным врачом Республики Беларусь 30.12.2008.*
14. Инструкция по применению № 063-1109 «Требования по оценке токсичности химических веществ и их смесей для водной среды», утв. Главным государственным санитарным врачом Республики Беларусь 24.11.2009.
15. ST/SG/AC.I0/30/Rev.5 «Согласованная на глобальном уровне система классификации опасности и маркировки химической продукции (СГС)». – 5-е пересмотр. изд. – ООН, Женева, 2013. – 638 с.
16. ГОСТ 32424-2013. Классификация опасности химической продукции по воздействию на окружающую среду. Общие положения. – М. : Стандартинформ, 2014. – 14 с.
17. Методы оценки экологической опасности пестицидов при их регистрации (Руководство по классификациям экологической опасности пестицидов), утв. ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии», 2010.
18. Киселев, И. А. Методы исследования планктона / И. А. Киселев // Жизнь пресных вод. – 1956. – № 4, ч. 1. – 163 с.
19. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция. – Л., 1984. – 52 с.
20. Романенко, В. И. Экология микроорганизмов пресных вод / В. И. Романенко, С. И. Кузнецов. – М. : Наука, 1974. – 194 с.

References

1. Boyko V. P., Naumova G. V., Ovchinnikova T. F., Zhmakova N. A., Luchina G. I., Makarova N. L. *Vliyanie biologicheski aktivnyh preparatov «Gidrogumat» i «Oksigumat» na immunitet i obmennye processy u zhivotnyh* [Influence of "Hydrohumate" and "Oxyhumate" biologically active preparations on immunity and metabolic processes in animals]. *Prirodopolzovaniye = Nature Management*, Minsk, 1998, issue 4, pp. 82–86. (in Russian)
2. Zayacz V. N., Kvetkovskaya A. V., Galushko O. G., Nadarinskaya A. V., Naumova G. V., Makarova N. L. *Dejstvie fiziologicheski aktivnyh veshhestv guminovoy prirody na aktivizaciyu fermentov i parametry` estestvennoj rezistnosti vysokoproduktivnyh korov* [Action of the physiologically active substances of humic nature on the activation of enzymes and the parameters of the natural resistance of highly productive cows]. *Sb. dokl. Mezhd. nauch.-prakt. konf. «Racional`noe ispol`zovanie bioresursov v APK»* [Proc. Scientific and Practical Conference "Rational use of biological resources in agriculture". Vladikavkaz, 2008, pp. 104–107. (in Russian)
3. Stepchenko L. M., Zhorina L. V., Kravczova L. V. *Vliyanie gumata natriya na obmen veshhestv i rezistentnost vysokoproduktivnoi pticy* [Influence of sodium humate on the metabolism and resistance of highly productive poultry]. *Biologicheskie nauki = Biological Sciences*, 1991, no. 10, pp. 90–95. (in Russian)
4. Melnikov S. S., Manankina E. E., Naumova G. V., Ovchinnikova T. F. *Vliyanie gidrolizatov rastitelnogo proishozhdeniya na produktivnost vodorosley i soderzhanie pigmentov* [Influence of the hydrolysates of plant origin on algae productivity and pigment content]. *Materialy mezhd. konf. «Regulyatory` rosta i razvitiya rasteniy v biotekhnologii* [Proc. Int. Conf. "Regulators of plant growth and development in biotechnology"]. Moscow, 2001, pp. 178–179. (in Russian)
5. Naumova G. V., Linnik V. Ya., Zhmakova N. A., Ovchinnikova T. F. *Biologicheski aktivnye preparaty` iz torfa kak dobavki k kormu ry`b* [Biologically active preparations from peat as additives to fish feed]. *Sb. tr. GGAU «Selskoe hozyajstvo, problemy i perspektivy»* [Proc. of the GGAU "Agriculture, problems and prospects"], 2003, vol. 1, part 1, pp. 205–208. (in Russian)
6. Linnik V. Ya., Zhmakova N. A., Hripovich A. A., Rahteenko T. S. Luchina G. I. *Produkty okislitel`no-gidroliticheskoy destrukcii torfa kak biologicheski aktivnye dobavki k kormu ry`b* [Products of the oxidative-hydrolytic destruction of peat as biologically active additives to fish feed]. *Prirodopolzovaniye = Nature Management*, Minsk, 1999, issue 5, pp. 100–102. (in Russian)
7. Oginova I. A., Gorovaya A. I. *Vliyanie fiziologicheski aktivnyh gumenovyh veshhestv na funkcional`noe sostoyanie i oplotodotvoryamost` ikry` i razvitiye lichinki karpa* [Products of the oxidative-hydrolytic destruction of peat as biologically active additives to fish feed]. *Guminovy'e udobreniya: Teoriya i praktika ikh primeneniya = Humic fertilizers: Theory and practice of their application*. Dnepropetrovsk, Publ. house of DSHI, 1983, pp. 115–117. (in Russian)
8. Sidorov N. A., Sazanova N. N., Neveselaya O. A. *Vliyanie preparata «Torfonit» na rost i vy`zhivaemost` lichinok kanal`nogo soma* [The Effect of the "Torfonit" on the growth and survival of channel catfish larvae]. *Rybohozyaystvennaya nauka Ukrayiny = Fisheries science of Ukraine*, 2009, no. 1, pp. 60–63. (in Russian)
9. Steinberg C. E. W., Hoss S., Kloas W., Lutz I., Meinelt S., Pflugmacher S., Wiegand C. Hormone like effects of humic substances on fish, amphibians, and invertebrates, *Environmental toxicology*, 2004, vol. 19, no. 4. pp. 409–411.
10. Stom D. I., Dagurov A. V. *Kombinirovannoe deystvie nefteproduktov i «Gumata» na dafni* [Combined effect of petroleum products and "HUMATE" on Daphnia], *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal = Siberian ecological journal*, 2004, no. 1, pp. 35–40. (in Russian)

11. GOST 32473-2013 *Metody` ispy'taniy himicheskoy produkci, predstavlyayushhey opasnost` dlya okruzhayushhey sredy`*. Opredelenie ostroy toksichnosti dlya ry'b [Testing of the chemicals of human hazard. Chronic toxicity studies]. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 9 p. (in Russian).
12. GOST 32536-2013 *Metody` ispy'taniy himicheskoy produkci, predstavlyayushhey opasnost` dlya okruzhayushhey sredy`*. Opredelenie ostroy toksichnosti dlya dafniy [Testing of the chemicals of environmental hazard. Daphnia sp. Acute Immobilisation test]. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 9 p. (in Russian).
13. Instrukciya po primeneniyu № 093-1008 «Opredelenie ostroy toksichnosti himicheskikh veshhestv, ih smesey, prirodnyh i stochnyh vod metodom biotestirovaniya s primeniem rakoobraznyh v kachestve test-ob'ektorov (*D.magna* i *S. Vidua*)», utv. Glavnym gosudarstvennym sanitarnym vrachom RB 30.12.2008 [Instructions for use No. 093-1008 "Determination of the acute toxicity of chemicals, their mixtures, natural and wastewater by biotesting with the use of crustaceans as test objects (*D. magna* and *C. Vidua)", approved by the Chief State Sanitary Doctor of the Republic Belarus of 30 December 2008]. (in Russian)*
14. Instrukciya po primeneniyu № 063-1109 «Trebovaniya po ocenke toksichnosti himicheskikh veshhestv i ih smesey dlya vodnoj sredy», utv. Glavnym gosudarstvennym sanitarnym vrachom Respubliki Belarus 24.11.2009 [Instructions for use No. 063-1109 "Requirements for the assessment of the toxicity of chemicals and their mixtures for the aquatic environment", approved by the Chief State Sanitary Doctor of the Republic of Belarus 24.11.2009]. (in Russian)
15. ST/SG/AC.I0/30/Rev.5 «Soglasovannaya na global'nom urovne sistema klassifikacii opasnosti i markirovki himicheskoy produkci (SGS)», pyatoe peresmotrennoe izdanie [ST/SG/AC.I0/30 / Rev.5 "Global harmonized system of hazard classification and the labeling of chemical products (GHS)". 5th revised edition]. UN, Geneva, 2013, 638 p. (in Russian)
16. GOST 32424-2013 «Klassifikaciya opasnosti himicheskoy produkci po vozdeystviyu na okruzhayushchuyu sredu. Obshchie polozheniya [Classification of chemicals for environmental hazards. General principles]. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 9 p. (in Russian).
17. Metody ocenki ekologicheskoy opasnosti pesticidov pri ix registraci (Rukovodstvo po klassifikaciyam ekologicheskoy opasnosti pesticidov), utv. GNU «Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut fitopatologii» [Methods for assessing of the environmental hazards of pesticides in their registration (Manual on classifications of environmental hazards of pesticides, approved by the All-Russian Research Institute of Phytopathology)], 2010. (in Russian)
18. Kiselev I. A. Metody issledovaniya plankton [Methods of plankton research]. Zhizn presnyh vod = Life of fresh waters, 1956, no. 4, part 1, 163 p. (in Russian)
19. Metodicheskie rekomendacii po sboru i obrabotke materialov pri gidrobiologicheskikh issledovaniyah na presnovodnyh vodoemah. Zoobentos i ego produkciya [Methodological recommendations for the collection and processing of materials in hydrobiological studies on freshwater bodies. Zoobenthos and its products]. Leningrad, 1984, 52 p. (in Russian)
20. Romanenko V. I., Kuznetsov S. I. Ekologiya mikroorganizmov presnyh vod [Ecology of the microorganisms of fresh waters]. Moscow, Nauka Publ., 1974, 194 p. (in Russian).

Информация об авторах

Наумова Галина Васильевна – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.basnet.by

Пантелей Сергея Николаевич – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Институт рыбного хозяйства (ул. Стебенева, 22, 220024 г. Минск, Беларусь). E-mail: pantsialei@yandex.ru

Овчинникова Татьяна Феликсовна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.basnet.by

Жмакова Надежда Анатольевна – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: zhmakova@mail.ru

Information about the authors

Galina V. Naumova – D. Sc. (Technical), Professor, Chief Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skariny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.basnet.by

Sergey N. Panteley – Ph. D (Agricultural), Leading Researcher, Institute of fisheries (22, Stebeneva Str., 220024, Minsk, Belarus). E-mail: pantsialei@yandex.ru

Tatiyana F. Ovchinnikova – Ph. D (Technical), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skariny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.basnet.by

Nadezhda A. Zhmakova – Ph. D (Technical), Leading Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skariny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: zhmakova@mail.ru

Макарова Наталья Леонидовна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.basnet.by

Макеенко Александр Александрович – аспирант, младший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: makeenko1507@mail.ru

Сенникова Виолетта Дмитриевна – старший научный сотрудник, Институт рыбного хозяйства (ул. Стебенева, 22, 220024, г. Минск, Беларусь). E-mail: belniirh@tut.by

Natalya L. Makarova – Ph. D (Technical), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skariny Str., 220076, Minsk, Belarus), E-mail: info@nature-nas.basnet.by

Aleksandr A. Makeenko – Graduate Student, Junior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skariny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: makeenko1507@mail.ru

Violetta D. Sennikova – Senior Researcher, Institute of fisheries (22, Stebeneva Str., 220024, Minsk, Belarus). E-mail: belniirh@tut.by

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ И ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПОСТУПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАСТЕНИЯ

А. Э. Томсон, Г. А. Соколов, Т. В. Соколова,
В. С. Пехтерева, Н. Е. Сосновская

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. Приведены результаты изучения сорбционных свойств органических (торф), органоминеральных (сапропели различных генетических типов), минеральных (трепел) дисперсных материалов, а также композиционных систем на их основе. Показано, что благодаря особенностям химического состава и структурной организации органического и минерального вещества сорбционные материалы на основе торфа, сапропеля, минеральных компонентов могут снижать поступление тяжелых металлов в растения, чем позволяют получать экологически чистую продукцию на загрязненных почвах.

Ключевые слова: торф; сапропель; трепел; композиционные материалы; сорбция; равновесие; кинетика.

Для цитирования. Томсон А. Э., Соколов Г. А., Соколова Т. В., Пехтерева В. С., Сосновская Н. Е. Влияние природных органических и органоминеральных дисперсных материалов на поступление тяжелых металлов в растения // Природопользование. – 2020. – № 1. – С. 155–164.

INFLUENCE OF NATURAL ORGANIC AND ORGANOMINERAL OF DISPERSED MATERIALS ON ACCESS TO HEAVY METALS IN PLANTS

A. E. Tomson, G. A. Sokolov, T. V. Sokolova,
V. S. Pekhtereva, N. E. Sosnovskaya

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

Abstract. The results on sorption properties study of organic (peat), organic-mineral (sapropels of different genetic types), mineral (Tripoli) dispersed materials and composition systems on their basis are discussed. It is shown that thanks to particular features of chemical composition and structural condition of organic and mineral compounds, the sorption materials made on the basis of Peat, Sapropel and Mineral additives are able effectively reduce an uptake of heavy metals by plants, that allows to obtain ecologically pure agricultural production on contaminated lands.

Keywords: peat; sapropel; Tripoli; composition materials; sorption; balance; kinetics.

For citation. Tomson A. E., Sokolov G. A., Sokolova T. V., Pekhtereva V. S., Sosnovskaya N. E. Influence of natural organic and organomineral of dispersed materials on access to heavy metals in plants. *Nature Management*, 2020, no. 1, pp. 155–164.

Введение. Проблемы экологической безопасности государства предполагают такой уровень функционирования технологий во всех сферах промышленного производства, при котором сводится до минимума поступление загрязняющих веществ в объекты окружающей среды: технические решения предусматривают переработку образующихся отходов либо в безвредные материалы, либо в предметы товарной продукции. Регулирование негативной деятельности отраслей промышленного производства на современном этапе может быть достигнуто как путем совершенствования применяемых технологических решений, так и за счет использования специально разработанных биосферно совместимых технических решений, выводящих вторичные отходы из технологического цикла путем их обезвреживания или переработки.

Одними из опасных загрязняющих веществ являются тяжелые металлы. При попадании в почву они приводят к негативным изменениям состава катионов в почвенно-поглощающем комплексе, неблагоприятно влияют на почвенные организмы, ферментативную активность почвы. Проникая в растения, тяжелые металлы снижают количественные и качественные показатели их продуктивности, нарушают процессы метаболизма и реализации генетической программы растений. По трофическим

цепям с кормами и продуктами питания они попадают в организм животных и человека, вызывая различные заболевания.

Тяжелые металлы становятся опасными, когда они накапливаются в повышенных концентрациях в почвах, растениях и других объектах окружающей среды, поэтому расширение масштабов производственно-хозяйственной деятельности и внедрение новых технологий должны сопровождаться обязательным экологическим мониторингом окружающей среды.

Широкое распространение в практике очистки жидких сред, газовых выбросов и почвы от загрязняющих веществ получили сорбционные технологии, позволяющие вести очистку весьма эффективно и избирательно. В качестве сорбционных материалов используются активные угли, синтетические смолы, глинистые минералы и т. д. Тем не менее в настоящее время остро стоят вопросы расширения ассортимента сорбентов, упрощения и удешевления технологии их производства. В связи с этим большое внимание уделяется изучению и использованию таких широко распространенных и дешевых природных сорбентов, как торф, древесина и продукты их переработки, сапропель, глинистые минералы.

На базе многолетнего опыта в области практического природопользования нами сформулированы основные критерии, в соответствии с которыми используемые в практике сорбционные материалы должны удовлетворять следующим требованиям: высокие эксплуатационные характеристики; достаточно простая технология получения и наличие необходимых сырьевых ресурсов; невысокая стоимость; биосферная совместимость, – т. е. применение и утилизация отработанных материалов не должны приводить к повторному загрязнению окружающей среды. Проведенные нами многолетние исследования показали, что в достаточной степени универсальность свойств, отвечающих вышеперечисленным требованиям, обладают торф и в некоторой степени сапропель.

Торф, благодаря наличию широкого спектра функциональных групп, способен принимать участие в ионообменных процессах, т. е. поглощать ионы тяжелых и цветных металлов из сточных вод [1]. Роль ионообменных центров в торфе выполняют в основном карбоксильные ($-COOH$) и гидроксильные ($-OH$) группы, подвижный протон которых в зависимости от pH среды способен замещаться другими катионами. Кроме того, в литературе имеются сведения о наличии в торфе способных к ионному обмену гетероциклических групп $=NH$ и $-NH_2$, а также азотсодержащие (основные группы), входящие в состав ионообменного комплекса торфа [2].

В процессе ионного обмена принимают участие не только поверхностные активные группы, но и группы, расположенные внутри рыхлых надмолекулярных ассоциатов, что объясняет сравнительную длительность установления ионного равновесия, а также высокую обменную способность торфа [3].

Емкость обмена наиболее типичных видов торфа колеблется в пределах 0,77–1,78 мг-экв/г органической массы торфа (по иону бария при pH 6,5). При этом емкость обмена торфа сопоставима с емкостью обмена минеральных сорбентов и несколько ниже емкости обмена для синтетических ионитов. Наибольшей емкостью обмена обладают низинные и переходные типы торфа высокой степени разложения.

По виду кривых потенциометрического титрования торфа щелочью, а также по результатам спектрального исследования торф относится к числу полифункциональных, слабокислотных катионитов. При кислой и нейтральной реакции среды замещается водород карбоксильных групп, а при щелочной реакции в обмен вступают водородные ионы фенольных гидроксилов.

В процессе ионного обмена торфу присуща избирательность (селективность), проявляющаяся в том, что динамическая обменная емкость торфа зависит не только от числа функциональных групп, но и от природы катиона. Мерой избирательности служит концентрационная константа обмена. Экспериментально установлено, что концентрационные константы обмена $Mg-H$ из 0,1 н. растворов хлоридов составляют для ионов щелочных металлов 10^{-3} , щелочноземельных – 10^{-2} , ионов цинка, никеля и кобальта – 10^{-1} и для иона меди – больше единицы.

Порядок избирательности для одновалентных ионов металлов соответствует ряду $Ag^{+1} > Cs^{+1} > K^{+1} > Na^{+1} > Li^{+1}$, для двухвалентных – $Cu^{+2} > Co^{+2} > Zn^{+2} > Ni^{+2} > Ba^{+2} > Sr^{+2} > Ca^{+2} > Mg^{+2}$ [4].

Характерной особенностью в поведении ионов переходных элементов является повышенное сродство к торфу по сравнению со щелочными и щелочноземельными металлами. Концентрационные константы обмена таких элементов на порядок выше по сравнению с константами обмена для щелочноземельных металлов и на два порядка – по сравнению с константами обмена для ионов щелочных металлов, что обусловлено наличием в функциональных группах органического вещества торфа не только подвижных протонов, способных к вступлению в реакции ионного обмена, но и гетероатомов, склонных к донорно-акцепторному взаимодействию.

Высокую селективность торфа при поглощении катионов цинка, кобальта, никеля и меди можно объяснить с позиций явления комплексообразования. Известно, что ионообменный комплекс торфа представлен кислородсодержащими группами ($-COOH$, $-OH$), водород которых способен замещаться

на ион металла. Кроме того, в торфе представлены и донорные группы, содержащие свободную пару электронов, способных к присоединению. К ним относится =NH и =N– (замещенная аминогруппа), спиртовой гидроксил (–OH), карбонильная группа =CO, азот гетероциклов.

Цель работы – провести дальнейшее исследование особенностей взаимодействия некоторых составляющих органического вещества торфа (фракции гуминовых кислот), сапропеля различного генезиса и некоторых природных глинистых минералов с тяжелыми металлами, а также разработать способы, позволяющие направленно влиять на процессы миграции тяжелых металлов в природных объектах, в том числе на процесс их накопления в растениеводческой продукции.

Объекты и методы исследования. В качестве объектов исследования выбраны Н-форма пущевого торфа со степенью разложения 55–60 % и выделенные из него пирофосфатная и щелочная фракция ГК. Пирофосфатная фракция ГК извлечена из торфа 0,1 М раствором Na₄P₂O₇ при pH 7,0, щелочная – дополнительно 0,1 М раствором NaOH [5]. Сорбцию и десорбцию проводили в статических условиях при соотношении сухой массы сорбента к раствору 1 : 50. Концентрацию солей PbCl₂ и SrCl₂ изменяли от 0,001 до 0,5 н. Величину сорбции катионов находили по разности концентрации катионов в исходном и равновесном растворах. Определение концентрации катионов проводили на атомно-абсорбционном спектрометре «Сатурн-3П-1».

Объектом исследования выбран также сапропель различных генетических типов: смешанный (оз. Вечер), кремнеземистый (оз. Червоное), карбонатный (оз. Рыжее), кремнеземистый с содержанием CO₂ 3,9 % (оз. Белое) и органический (оз. Судобль). Для количественной характеристики сорбционных свойств сапропеля по известной методике определены содержание функциональных групп и статические обменные емкости (СОЕ) из уксуснокислых и хлористых солей калия, кальция, стронция, цинка, меди, свинца и железа [6, 7]. Для оценки избирательной способности сапропеля рассчитаны коэффициенты распределения (K_d) при сорбции из индивидуальных растворов, содержащих 0,1 г-экв/л соответствующего компонента. Сорбционные свойства трепела (месторождение «Стальное» Могилевской области) по отношению к ионам тяжелых металлов (Cu²⁺, Pb²⁺, Cd²⁺) оценены также по величине статической обменной емкости (СОЕ) по методике, указанной выше.

Объектами исследований являлись также композиционные сорбционные материалы на основе пущевого торфа и органоминеральной (карбонатный сапропель), а также минеральных составляющих в количестве 50 %: карбонатного типа – трепел и полиминеральный материал, содержащий аморфный оксид кремния, алюмосиликаты и кальцит (опока, месторождение «Ивановское» Могилевской области). Композиционные сорбенты получали путем гранулирования методом экструзии с последующей сушкой и сепарированием. Представляло интерес экспериментально определить лимитирующую стадию сорбции ионов металлов композиционными системами.

Известно [8], что скорость процесса сорбции ионов твердыми сорбентами определяется тремя стадиями: внешней диффузией ионов в растворе, внутренней диффузией в зерно сорбента и химической реакцией (хемосорбцией). Самая медленная стадия определяет кинетику процесса и является лимитирующей. В эксперименте использовали фракции сорбента размерами 0,5–2,0 и 2,0–3,0 мм. Изучение кинетики сорбции ионов кальция и меди проводили методом отдельных навесок в статических условиях. В ходе исследований использовали 0,01 н. растворы солей Cu(CH₃COO)₂ и Ca(CH₃COO)₂ в термостатируемом сосуде ($\pm 0,02$ °C). Общий объем раствора составлял 50 мл, количество сорбента – 1 г. Длительность опыта – 24 ч. Зная концентрацию исходного и равновесного растворов, рассчитывали величину сорбции в каждый момент времени a_t , а также в состоянии равновесия через 24 ч – a_∞ . Отношение a_t/a_∞ , как известно, есть степень достигнутого равновесия. Обработку экспериментальных данных проводили в соответствии с уравнениями

$$F = 1 - \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-\frac{D\pi^2 n^2 t}{r^2}\right), \quad (1)$$

$$B_t = \frac{D\pi^2 t}{r^2}, \quad (2)$$

полученными Баррером [9] при решении уравнения диффузии в шарообразную частицу [10], где F – отношение количества сорбированных за время t ионов (a_t) к их равновесному количеству (a_∞). Уравнение (2) используется в виде диаграммы в координатах $B_t - t$. Значения B_t как функции F приводятся в таблице Райхенберга [11]. Зависимость B_t от t в случае применимости уравнения (2) дает прямую линию, исходящую из начала координат, наклон прямой определяет величину B . Определив значение B и зная радиус частицы r , можно вычислить величину коэффициента диффузии D .

В качестве средств, снижающих поступление тяжелых металлов в растение из почвы, были испытаны: торф, торфо-сапропелевый компост, глинистый минерал трепел, смесь торфа с трепелом и приготовленный многокомпонентный композиционный состав. Дозы органических компонентов были приняты равными 30 т/га в расчете на 50%-ную влажность, доза трепела – 0,3 т/га, что составляло 1 % от массы вносимого органического состава. Растения кукурузы выбраны в качестве тестовых в связи с их высокой чувствительностью к загрязнению почвы тяжелыми металлами, особенно в молодом возрасте. Полив растения осуществлялся периодически по мере необходимости питательным раствором Прянишникова. Растения выращивали в течение 1,5 месяцев, затем их срезали, высушивали, взвешивали сухую массу, озоляли и в золе определяли содержание свинца атомно-абсорбционным методом. В качестве дополнительных показателей состояния растений использовали данные измерения высоты растений в день срезания и вес сухой массы одного растения. Повторность опыта – шестикратная.

Результаты и их обсуждение. Результаты эксперимента показали, что для установления равновесия в системе ГК–сорбат необходимо около 4 ч, а в случае Н-формы торфа – 6 ч. При этом за первые 10 мин на пирофосфатной и щелочной фракциях ГК сорбируется до 68 %, в то время как на торфе – 37 % от общего количества связанных катионов. Такое различие в скорости сорбции объяснено полифункциональным составом торфа, его гетерогенностью и более значительным набуханием по сравнению с ГК [12].

Сорбционная емкость исследованных органических сорбентов по отношению к ионам стронция и свинца уменьшается в ряду пирофосфатная фракция ГК > щелочная фракция ГК > Н-форма торфа, что обусловлено разным содержанием в них карбоксильных групп 3,71; 3,08 и 1,66 мг-экв/г соответственно. На основании экспериментальных данных рассчитаны концентрационные константы обмена ($K_{Me^{2+}-H^+}$) и построены изотермы избирательности обмена Sr^{2+} и Pb^{2+} на торфе, щелочной и пирофосфатной фракциях ГК, на которых прослеживается общая для всех исследованных обменных систем $Me^{2+}-H^+$ закономерность в изменении избирательности: малые значения концентрационных констант обмена, хотя они и увеличиваются в ряду пирофосфатная фракция ГК > щелочная фракция ГК > Н-форма торфа, и значительное снижение их по мере насыщения торфа и ГК ионами (рис. 1). Следует отметить, что избирательность исследуемых сорбентов по отношению к Pb^{2+} на порядок выше, чем к Sr^{2+} при одинаковой степени заполнения сорбента, т. е. при переходе от щелочноземельных металлов к тяжелым сорбция последних увеличивается. Аналогичные результаты были получены авторами работ [2, 4].

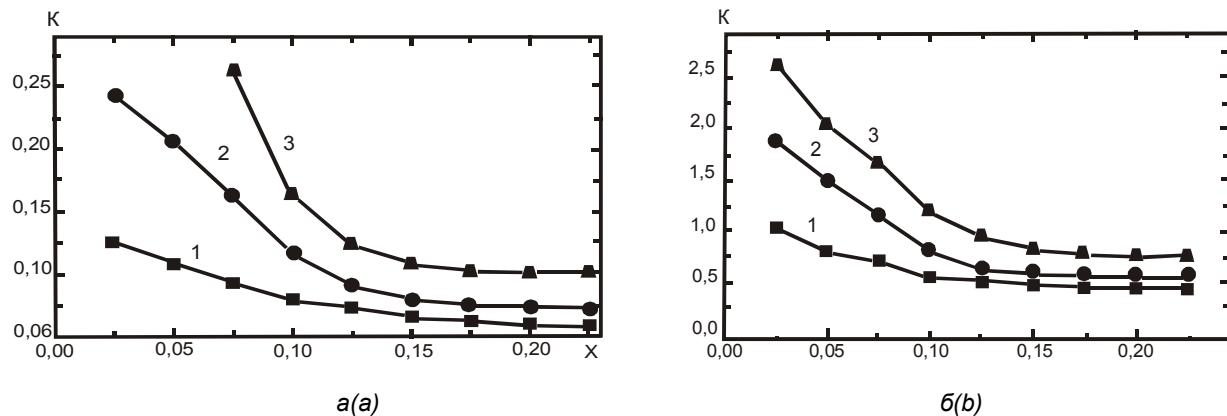


Рис. 1. Зависимость концентрационных констант обмена $Sr^{2+} - H^+$ (а) и $Pb^{2+} - H^+$ (б) от степени заполнения сорбента: 1 – Н-форма пущевого торфа; 2 – щелочная фракция ГК; 3 – пирофосфатная фракция ГК

Fig. 1. The dependence of the concentration of exchange constants $Sr^{2+} - H^+$ (a) and $Pb^{2+} - H^+$ (b) from the degree of filling the sorbent: 1 – H – the form of cotton grass peat; 2 – the alkaline fraction of HS; 3 – the pyrophosphate fraction of HS

Исследования по десорбции показали, что дистиллированной водой вымываются из сорбентов только механически захваченные с фильтратом катионы. При подкислении контактирующей с сорбентами среды до pH 3,0; 2,0 и 1,0 величина десорбции катионов растет с 50 до 80 % и в случае pH 1,0 достигает 98–99 %. Это актуально в том плане, что в природе переход токсичных металлов в нерастворимые в воде формы вследствие сорбции их на природных объектах ведет

к уменьшению их токсичности для биомассы, тогда как растворение этих соединений увеличивает мобильность металлов и доступность для растений, усиливая таким образом их воздействие на окружающую среду и человека.

Известно, что в структуре органического вещества сапропеля различных генетических типов присутствует широкий спектр разнообразных функциональных групп ($\text{COOH}-$, $\text{OH}-$, $=\text{NH}$ и $-\text{SH}$). В минеральной составляющей содержится ряд неорганических включений с определенной кристаллической структурой, что дает основание предположить способность сапропеля поглощать и обменивать ионы из водных и почвенных растворов [13].

Экспериментальные значения величины обменной емкости и количества функциональных групп сапропеля представлены в табл. 1, анализ данных которой показывает, что величины СОЕ по различным ионам для исследуемых образцов сапропеля отличаются. Данное обстоятельство свидетельствует о высокой избирательности сорбентов.

Таблица 1. Характеристика ионообменных свойств сапропеля

Table 1. Characteristic of the ion-exchange properties of sapropel

Тип сапропеля	Содержание функциональных групп		СОЕ, мг-экв/г						
	COOH	$\text{COOH}+\text{OH}-$ $\text{OH}-$	pH равновесных растворов						
			K ⁺	Ca ²⁺	Sr ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Pb ²⁺	Fe ³⁺
			6,7	7,5	3,8	5,7	6,3	4,8	1,8
Смешанный	0,5	1,75/1,25	0,7 5,6	0,9 6,1	1,0 4,1	2,9 5,1	0,8 5,4	1,8 4,8	1,6 2,3
Кремнеземистый	0,5	2,23/1,77	0,3 5,1	0,6 5,2	1,0 5,0	2,5 5,2	1,2 5,2	1,4 4,7	1,4 2,2
Кремнеземистый с содержанием CO_2 3,8%	–	2,17/2,17	0,4 7,4	0,3 7,5	4,0 6,9	4,5 5,6	0,6 6,7	6,1 5,3	4,0 4,3
Карбонатный	–	2,10/2,10	0,7 7,6	1,0 7,6	7,0 7,5	9,3 6,5	2,8 6,7	10,4 6,0	8,2 6,8
Органический	0,2	1,62/1,40	0,1 5,6	0,8 6,4	1,0 4,4	1,8 5,3	1,3 5,3	1,4 4,8	1,3 2,1

Сопоставление значений СОЕ с суммарным содержанием функциональных групп и карбоксильных в отдельности показывает, что величина СОЕ практически по всем ионам превышает содержание свободных карбоксильных групп и находится на уровне суммарного ($\text{COOH}-$ и $\text{OH}-$) количества для сапропеля органического, кремнеземистого и смешанного типов.

Высокие значения СОЕ для всех типов сапропелей по ионам тяжелых металлов, вероятно, обусловлены специфическим взаимодействием сорбируемых катионов с активными центрами сапропеля с образованием комплексных солей. Аномально высокие значения СОЕ по ионам тяжелых металлов и стронция на сапропеле карбонатного и кремнеземистого типа с высоким содержанием карбонатов обусловлены, по-видимому, протеканием реакций соосаждения на поверхности частиц сапропеля.

В табл. 2 представлены коэффициенты распределения K_d разновалентных ионов на сапропеле различных генетических типов.

Таблица 2. Коэффициенты распределения разновалентных ионов на сапропеле различных генетических типов

Table 2. Distribution coefficients of multivalent ions of sapropel various genetic types

Тип сапропеля	K _d , мл/г						
	K ⁺	Ca ²⁺	Sr ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Pb ²⁺	Fe ³⁺
Смешанный	7,8		8,1	40,8	18,2	20,6	21,1
Кремнеземистый	3,2	5,3	12,9	33,3	13,0	15,5	18,4
Карбонатный	7,8	9,1	63,6	132,8	35,9	198,7	151,8
Органический	1,1	7,1	12,9	21,9	14,0	15,5	16,5

По данным табл. 2 можно сделать вывод об относительном сродстве изучаемых ионов к сорбенту, которое уменьшается в ряду для сапропеля органического, кремнеземистого, смешанного типов $\text{Cu}^{2+} > \text{Fe}^{3+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Sr}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$ и карбонатного типа $\text{Pb}^{2+} > \text{Fe}^{3+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Sr}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$.

Сорбционные свойства трепела (месторождение «Стальное» Могилевской области) по отношению к ионам тяжелых металлов (Cu^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+}) представлены в табл. 3.

Таблица 3. Характеристика сорбционных свойств трепела

Table 3. Description of the sorption properties of Tripoli

Тип минерала	Cu^{2+}	Pb^{2+}	Cd^{2+}
рН исходного раствора			
Трепел	5,6	4,6	6,5
СОЕ, мг-экв/г			
рН равновесного раствора			
	<u>1,2</u> 5,7	<u>0,3</u> 5,0	<u>0,3</u> 6,3

Анализ данных табл. 3 свидетельствует о достаточно высокой сорбционной способности минерального сорбента по отношению к иону меди. Она находится на уровне значений СОЕ для органического сапропеля и торфа. Несколько ниже значение СОЕ по ионам кадмия и свинца по сравнению с указанными органическими сорбентами. Характер изменения рН среды в процессе сорбции ионов металлов свидетельствует о достаточно сложном механизме сорбционного взаимодействия ионов металлов с сорбционными материалами.

Нами показано [14], что регулирование свойств сорбционных материалов на основе торфа может эффективно осуществляться путем создания композиций. Так, введение в верховой и низинный торф добавок органоминеральной (карбонатный сапропель) и минеральной карбонат- и силикатсодержащей природы (трепел, опока) позволяет повысить насыпную плотность и прочность композиций, что явится положительным моментом при практическом использовании.

В табл. 4 приведены равновесные сорбционные и кинетические (коэффициент диффузии) характеристики полученных методом экструзии гранулированного торфа и композиционных материалов на его основе по отношению к ионам Cu^{2+} (типичный комплексообразователь) и Ca^{2+} .

Таблица 4. Равновесные и кинетические характеристики композиционных сорбционных материалов на основе торфа

Table 4. The balance and kinetic characteristics of the combined sorption materials based on peat

Вид сорбента	Размер зерна, мм	$D \cdot 10^7$, см ² /с		СОЕ, мг-экв/г абс. сухого вещества	
		Cu^{2+}	Ca^{2+}	Cu^{2+}	Ca^{2+}
Гранулированный пушицевый торф	0,5–2,0	12,8	—	0,51	0,30
Гранулированный пушицевый торф + опока	0,5–2,0	2,1	3,6	0,50	0,29
Гранулированный пушицевый торф + сапропель	0,5–2,0	3,6	—	0,50	0
Гранулированный пушицевый торф + трепел	0,5–2,0	1,2	—	0,50	0

Из приведенных данных следует, что введение карбонатсодержащих добавок в торф практически не влияет на величину СОЕ по иону меди, в то время как сорбция кальция композитами с карбонатными добавками отсутствует. Это свидетельствует о различии в механизмах сорбции данных ионов композиционными материалами. Относительно невысокие значения величин СОЕ, полученные в эксперименте, обусловлены процессами уплотнения матрицы органического вещества торфа, либо органоминеральной композиции в процессе экструзионного формования.

Ион Ca^{2+} , имея благородногазовую электронную оболочку, взаимодействует с карбоксильными группами верхового торфа за счет кулоновского взаимодействия. Добавка трепела и карбонатного сапропеля в торф блокирует свободные функциональные группы, и в результате наблюдается отсутствие поглощения ионов кальция композиционными материалами. Ион меди, являясь d-элементом, а значит способным к комплексообразованию, сорбируется как за счет кулоновского, так и неспецифического взаимодействия с сорбентами. Поэтому введение карбонатсодержащих минеральных добавок не оказывается на равновесных сорбционных характеристиках исходного торфа по иону меди. СОЕ гранулированного торфа и композиционных материалов на основе торфа с минеральными карбонатсодержащими добавками имеет примерно одинаковое значение.

Учитывая вышеизложенное, изучение кинетики сорбции ионов металлов на карбонатсодержащих композитах проводили, используя в качестве реперного ион меди. Кинетические закономерности сорбции иона кальция изучали на исходном пущевом торфе и композите торф + опока.

Предполагая, что кинетика поглощения ионов сорбентами лимитируется диффузией внутри зерна сорбента, экспериментальные данные обработали в соответствии с уравнением (2) при постоянной концентрации внешнего раствора. Условие постоянства концентрации внешнего раствора выполнялось в достаточной степени, поскольку сорбированное количество ионов не превышало 6 % (в момент достижения равновесия) и общего количества ионов в растворе [15].

На рис. 2 приведены графики зависимости B_t от t для изучаемых систем. Эти зависимости прямолинейные, что свидетельствует о внутридиффузионном механизме поглощения ионов.

Коэффициенты диффузии, рассчитанные по формуле $D = \frac{Br^2}{\pi^2}$, представлены в табл. 4.

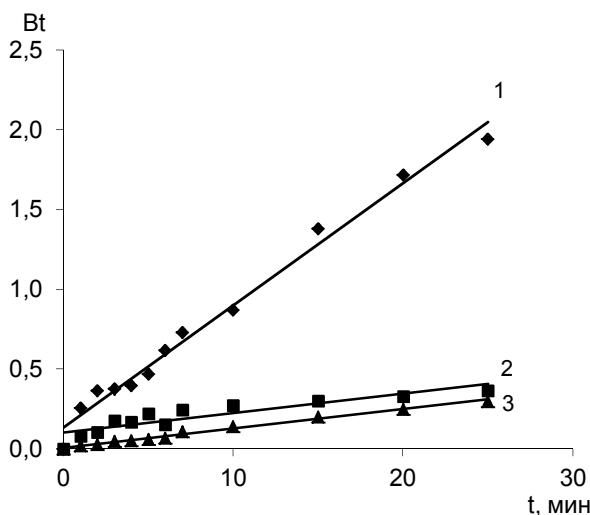


Рис. 2. Кинетические кривые сорбции Cu^{2+} на композиционных сорбентах:
1 – гранулированный торф; 2 – торф + опока; 3 – торф + трепел

Fig. 2. Kinetic curves of Cu^{2+} sorption on composite sorbents:
1 – granulated peat; 2 – peat + opoka; 3 – peat + tripoli

Из представленных на рис. 2 зависимостей B_t от t следует, что скорость сорбции зависит от вида сорбента. Более высокая скорость сорбции ионов на гранулированном сорбенте из торфа по сравнению с композиционными сорбентами обусловлена менее плотной структурой гранулированного торфа, что способствует диффузии ионов к активным центрам сорбции. Добавки минеральных составляющих уплотняют структуру сорбентов, падают значения коэффициентов диффузии (см. табл. 4), скорость сорбционного процесса уменьшается.

Из рис. 2 следует также, что трепел, являясь карбонатсодержащей добавкой, сильнее уплотняет структуру композита, скорость сорбции падает по сравнению со скоростью сорбции на композите торф + опока.

Анализ значений коэффициентов диффузии (см. табл. 4) подтверждает вывод о том, что в процессе формования композиционных систем происходит образование более плотных и компактных систем. Для исходного торфа и композиционных систем на его основе (торф + сапропель; торф + опока; торф + трепел) рассчитанные значения энергии активации процесса сорбции исследуемых ионов составляют 0,048; 2,8; 1,4 и 2,2 кДж/моль [15]. Высокие значения энергии активации для процесса сорбции на торфо-минеральных композиционных системах свидетельствуют о более энергетически затратном механизме диффузии ионов в образующиеся компактные структуры.

Результаты, представленные в табл. 5, показывают, что растения кукурузы, выращенные на почве, загрязненной свинцом и не содержащей других добавок (фон), были сильно угнетены, о чем свидетельствует их наименьшие по сравнению с другими вариантами высота и биомасса, а содержание свинца составляло 258 мг/кг сухой массы растения.

Внесение торфа в загрязненную почву снижает содержание свинца в растениях кукурузы до 106 мг/кг, т. е. в 2,5 раза по сравнению с фоном, и уменьшает угнетение растений, о чем свидетельствует более высокий рост растений по сравнению с фоном, но еще лучший результат (65,4 мг/кг) достигается при внесении в почву торфо-сапропелевой смеси.

Таблица 5. Сравнительная оценка действия различных композиционных составов по снижению поступления свинца в растения кукурузы из почвы с уровнем загрязнения 100 мг свинца на 1 кг почвы

Table 5. Comparative evaluation of the effect of various compositional compounds on reducing the intake of lead into corn plants from the soil with a pollution level of 100 mg of lead per 1 kg of soil

Вариант	Содержание свинца в растениях, мг/кг сухой массы	Средняя высота растений, см	Средняя сухая масса одного растения, г
Почва + свинец 100 мг/кг (фон)	258,5	23,0	0,20
Фон + торф	106,2	27,8	0,19
Фон + торфо-сапропелевая смесь	65,4	43,6	0,41
Фон + трепел	52,9	29,8	0,25
Фон + торф + трепел	71,3	31,0	0,28
Фон + торфо-сапропелевая смесь + трепел	23,6	57,9	0,57
Незагрязненная почва (контроль)	< 0,001	58,8	0,56

Внесение в почву трепела также существенно снижает поступление в растения кукурузы свинца (до 53 мг/кг) и ослабляет его угнетающее действие на растения.

Наибольший эффект снижения поступления свинца в растения из почвы получен при внесении в нее многокомпонентного композиционного состава. По эффективности он превосходит положительное действие каждого компонента в отдельности и максимально снижает поступление свинца в растения из почвы. Данные измерения высоты и массы растений также свидетельствуют о том, что на вариантах, где в почву вносили данный композиционный состав, растения имеют наибольшую высоту и биомассу, т. е. они угнетены менее, чем в других вариантах опыта.

Заключение. Показано, что благодаря особенностям химического состава и структурной организации органического и минерального вещества, композиционные сорбционные материалы на основе торфа, сапропеля, минеральных компонентов могут снижать поступление тяжелых металлов в растения, что позволяет получать экологически чистую продукцию на загрязненных почвах.

Список использованной литературы

- Лиштван, И. И. Исследование ионообменных свойств торфа / И. И. Лиштван, Л. П. Королева // Сб. науч. тр. Калининский политех. ин-т. – Калинин, 1974. – Вып. 17 : Физико-химические свойства торфа. – С. 33–39.
- Соколова, Т. В. Применение гранулированного торфа для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов : автореф. ... дис. канд. техн. наук / Т. В. Соколова. – Минск : Ин-т торфа АН БССР, 1988. – 21 с.
- Воловович, М. П. Современное состояние и методы физики и физико-химии торфа / М. П. Воловович, Н. В. Чураев // Тр. Междунар. конгр. по торфу. – М., 1963. – С. 1–32.
- Рогач, Л. М. Исследование влияния катионного состава на обменные и гидрофильтрующие свойства торфа : автореф. ... дис. канд. хим. наук / Л. М. Рогач. – Минск : Ин-т торфа АН БССР, 1979. – 24 с.
- Бамбалов, Н. Н. Фракционно-групповой состав органического вещества целинных и мелиорированных торфяных почв / Н. Н. Бамбалов, Т. Я. Беленькая // Почвоведение. – 1998. – № 12. – С. 1431–1437.
- Сыков, К. М. Определение содержания функциональных групп в слабокислотных катионитах / К. М. Сыков, Т. А. Кухаренко // Зав. лаб. – 1947. – № 1. – С. 25–27.
- ГОСТ 20255.1–89. Иониты. Методы определения емкости. – Введ. 01.01.91. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1989. – 19 с.
- Сенявин, М. М. Теоретические основы деминерализации пресных вод / М. М. Сенявин – М. : Наука, 1975. – 375 с.
- Баррер, Р. Диффузия в твердых телах / Р. Баррер – М. : ИЛ, 1948. – 201 с.
- Boyd, G. E. The Exchange Adsorption of Ions from Aqueous Solutions Organic Zeolites / G. E. Boyd, A. W. Adamson, L. S. Mayers // J. Amer. Chem. Soc. – 1949. – Vol. 60. – P. 2836–2848.
- Reichenberg, D. S. Properties of Ion-Exchange Resins in Relation to their Structure. III. Kinetics of Exchange // J. Amer. Chem. Soc. – 1953. – Vol. 75. – P. 589–590.
- Белькевич, П. И. Ионообменные свойства торфа. Обмен катионов на торфе. Сообщ. 1 / П. И. Белькевич, Л. Р. Чистова // Тр. Ин-та торфа АН БССР. – 1957. – Вып. 6. – С. 130–142.
- Лопотко, М. З. Использование сапропелей в народном хозяйстве СССР и за рубежом / М. З. Лопотко, Н. В. Кислов. – Минск : Наука и техника, 1990. – 95 с.
- Физико-химические и сорбционные свойства композиционных материалов на основе торфа и минеральных составляющих / А. Э. Томсон [и др.] // Природопользование. – 2004. – Вып. 10. – С. 137–140.
- Кинетика сорбции ионов металлов композиционными системами на основе торфа / А. Э. Томсон [и др.] // Природопользование. – 2005. – Вып. 11. – С. 169–173.

References

1. Lishtvan I. I., Koroleva L. P. *Issledovanie ionoobmenniyh svoystv torfa* [Study of ion exchange properties of peat]. Sb. nauch. tr. Kalininskiy politeh. in-t. Fiziko-himicheskie svoystva torfa. Kalinin, 1974, issue 17, pp. 33–39. (in Russian)
2. Sokolova T. V. *Primenenie granulirovannogo torfa dlya očistki stochnyih vod ot ionov tyazhelyih metallov*. Avtoref. dis. kand. tehn. nauk [The use of granular peat for wastewater treatment from heavy metal ions. Cand. techn. sci. diss. abstract]. Minsk, 1988, 21 p. (in Russian)
3. Volorovich M. P., Churaev N. V. *Sovremennoe sostoyanie i metody fiziki i fiziko-himii torfa* [Current state and methods of physics and physical chemistry of peat]. Trudy Mezhdunarodnogo kongressa po torfu [Proc. Int. Congress of Peat]. Moscow, 1963, pp. 1–32. (in Russian)
4. Rogach L. M. *Issledovanie vliyaniya kationnogo sostava na obmennyie i gidrofilnyie svoystva torfa*. Avtoref. dis. kand. him. nauk [Investigation of the effect of cationic composition on the exchange and hydrophilic properties of peat. Cand. Chem. sci. diss. abstract]. Minsk, 197, 24 p. (in Russian)
5. Bambalov N. N., Belenkaya T. Ya. *Fraktsionno-gruppovoy sostav organiceskogo veschestva tselinyih i meilirovannyih torfyanyih pochv* [The fractional group composition of the organic matter of virgin and reclaimed peat soils]. Pochvovedenie = Soil Science, 1998, no. 12, pp. 1431–1437. (in Russian)
6. Syiskov K. M., Kuharenko T. A. *Opredelenie soderzhaniya funktsionalnyih grupp v slabokislotnyih kationitah* [Determination of the content of functional groups in weakly acid cation exchangers]. Zav. lab., 1947, no. 1, pp. 25–27. (in Russian)
7. GOST 20255.1–89. Ionity. Metody opredeleniya emkosti. Vved. 01.01.91 [State Standard 20255.1–89. Ionites. Capacity Determination Methods]. Moscow, USSR State Committee for Standards, 1989, 19 p. (in Russian)
8. Senyavin M. M. *Teoreticheskie osnovyi demineralizatsii presnyih vod* [Theoretical Foundations of Freshwater Demineralization]. Moscow, 1975. 375 p. (in Russian)
9. Barrer R. *Diffuziya v tverdyih telakh* [Solid Diffusion]. Moscow, 1948. 201 p. (in Russian)
10. Boyd G. E., Adamson A. W., Mayers L. S. The Exchange Adsorption of Ions from Aqueous Solutions Organic Zeolites. J. Amer. Chem. Soc., 1949, vol. 60, pp. 2836–2848.
11. Reichenberg D. S. Properties of Ion-Exchange Resins in Relation to their Structure. III. Kinetics of Exchange. J. Amer. Chem. Soc., 1953, vol. 75, pp. 589–590.
12. Belkevich P. I., Chistova L. R. *Ionoobmennye svoystva torfa. Obmen kationov na torfe* [Ion exchange properties of peat. Peat cation exchange]. Soobschenie 1 P. [Message 1]. Trudy Instituta torfa AN BSSR = Proc. of the Peat Institute of the Academy of Sciences of USSR, 1957, issue 6, pp. 130–142. (in Russian)
13. Lopotko M. Z., Kislov N. V. *Ispolzovanie sapropely v narodnom hozyaystve SSSR i za rubezhom* [The use of sapropels in the national economy of the USSR and abroad]. Minsk, Nauka i tehnika Publ., 1990, 95 p. (in Russian)
14. Tomson A. E., Sokolova N. E., Sokolova T. V., Pehtereva V. S., Kukharchik V. V., Chistyakova E. I. *Fiziko-himicheskie i sorbtionnyie svoystva kompozitsionnyih materialov na osnove torfa i mineralnyih sostavlyayuschihih* [Physico-chemical and sorption properties of composite materials based on peat and mineral components]. Prirodopolzovanie = Nature Management, 2004, issue 10, pp. 137–140. (in Russian)
15. Tomson A. E., Sokolova T. V., Pehtereva V. S., Kukharchik V. V., Sosnovskaya N. E. *Kinetika sorbtii ionov metallov kompozitsionnymi sistemami na osnove torfa* [Kinetics of sorption of metal ions by composite systems based on peat]. Prirodopolzovanie = Nature Management, 2005, issue 11, pp. 169–173. (in Russian)

Информация об авторах

Томсон Алексей Эммануилович – кандидат химических наук, заместитель директора по научной работе, заведующий Центром по торфу и сапропелям, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: altom@nature-nas.by

Соколов Геннадий Алексеевич – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: agrico@nature-nas.by

Соколова Тамара Владимировна – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: tomsok49@tut.by

Information about the authors

Aleksey E. Tomson – Ph. D. (Chemistry), Assistant Professor, Deputy Director, Head of the Centre for the Peat and Sapropel, Head of Lab. of Ecotechnology, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: altom@nature-nas.by

Gennadiy A. Sokolov – Ph. D. (Agricultural), Leading Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: agrico@nature-nas.by

Tamara V. Sokolova – Ph. D. (Chemistry), Assistant Professor, Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: tomsok49@tut.by

Пехтереева Виктория Станиславовна – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: pehvik@jandex.ru

Сосновская Наталья Евгеньевна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: natalisosnov@mail.ru

Victoriya S. Pehtereva – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: pehvik@jandex.ru

Nataliya E. Sosnovskaya – Ph. D. (Technical), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: natalisosnov@mail.ru

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ КОНВЕРСИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ В ГАЗООБРАЗНОЕ ТОПЛИВО

Г. И. Журавский¹, П. А. Петренко²

¹Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларусь, Минск, Беларусь

²Общество с ограниченной ответственностью «Модум-Техно», Минск, Беларусь

Аннотация. Описана методика расчета термохимической конверсии органических отходов в газообразное топливо. На примере газификации древесной щепы показана возможность определения путем расчета выхода и состава газа, удельной теплоты сгорания его, а также расчета эффективности получения газа из отходов. Представлена опытная газогенераторная электрическая станция для получения электрической и тепловой энергии из органических отходов. Производственные испытания электростанции подтвердили хорошее соответствие расчетных по данной методике параметров газификации отходов и полученных в процессе эксплуатации станции данных по расходу топлива, составу газа, количественному выходу газа и удельной теплоте сгорания.

Ключевые слова: органические отходы; термохимическая конверсия; топливо; методика расчета.

Для цитирования. Журавский Г. И., Петренко П. А. Методика расчета термохимической конверсии органических отходов в газообразное топливо // Природопользование. – 2020. – № 1. – С. 165–171.

THE METHOD OF CALCULATING THERMOCHEMICAL CONVERSION OF ORGANIC WASTE INTO GAS FUEL

G. I. Zhuravsky¹, P. A. Petrenko²

¹A. V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

²Modum-Techno Limited, Minsk, Belarus

Annotation. The method of calculating thermochemical conversion of organic waste into gas fuel is described. The example of gasification of wood chips shows the possibility of determining by calculating the output and composition of gas, the specific heat of its combustion, as well as the calculation of the efficiency of gas production from waste. An experimental gas-generating power station is presented to generate electrical and thermal energy from organic waste. Production tests of the power plant confirmed the good compliance of the calculated parameters of gasification of waste and the data obtained during the operation of the station on fuel consumption, gas composition, quantitative gas output and specific heat of combustion.

Keywords: organic waste; thermochemical conversion; fuel; calculation methodology.

For citation. Zhuravsky G. I., Petrenko P. A. The method of calculating thermochemical conversion of organic waste into gas fuel. *Nature Management*, 2020, no. 1. pp. 165–171.

Введение. В настоящее время проблема широкого вовлечения в энергетику различных видов угля, а также органических отходов для замещения топлив из нефти и газа приобрела особую актуальность. Это связано как с истощением разведенных месторождений нефти и газа и ростом цен на них, так и с все возрастающим накоплением горючих органических отходов и наличием огромных запасов различных видов угля [1–3].

Считается, что основной технологией энергетического использования отходов и угля в XXI в. будет термохимическая конверсия (газификация) с получением газообразных топлив.

Термохимическая конверсия – процесс термического разложения вещества, в котором участвуют газифицирующие агенты (воздух, кислород, водяной пар, диоксид углерода, а также их смеси).

Особую актуальность приобретает направление, связанное с разработкой новых систем термохимической конверсии горючих смесей широкого компонентного состава для получения силового газа, который может быть использован в газодизельных электрических станциях для генерирования электрической энергии.

В настоящей работе на основании анализа большого числа экспериментальных данных по процессам пиролиза и газификации органических материалов с широким спектром состава разработана методика расчета термохимической конверсии отходов в газообразное топливо.

Термохимическая конверсия отходов. В качестве отходов рассмотрим древесную щепу следующего элементного состава, мас.%: углерод – 50, кислород – 41; водород – 6; зола – 3.

Относительная влажность – 30 мас.%. Расход рабочей массы, которая подвергается термохимической конверсии в реакторе, – 120 кг/ч.

Древесная щепа в реакторе проходит через зоны подсушки, пиролиза, горения и восстановления.

В зоне подсушки испаряется влага отходов, в результате чего в этой зоне в нашем примере выделяется водяной пар в количестве 36 кг/ч. Сухие отходы из зоны подсушки с расходом 84 кг/ч поступают в зону пиролиза, в которой в результате разложения органической части отходов выделяются летучие продукты.

Рассчитаем зону пиролиза. Для удобства расчетов выразим состав отходов в кг/моль.

Содержание элементов в 120 кг отходов будет следующим, кг/моль: углерод (C) – 3,5; водород (H_2) – 2,52; кислород (O_2) – 1,08; водяной пар (H_2O) – 2,0.

В зоне пиролиза образуются смола растворимая и смола осадочная, уксусная кислота, метиловый спирт, оксид и диоксид углерода, пирогенетическая вода, метан, этилен и в незначительных количествах другие продукты.

На основании известных данных о составе смолы при пиролизе древесины принимаем ее состав: C = 79,5 % O_2 = 12,45 % H_2 = 8,05 %.

Такой состав обусловлен тем, что в древесине содержится незначительное количество серы и азота (около 0,1 %) [1].

По результатам экспериментальных данных установлено, что в смолу растворимую переходит столько углерода, сколько в древесине содержится водорода.

Поскольку в отходах содержится 2,52 кг/моль водорода, то на образование смолы растворимой расходуется углерода 0,42 кг/моль.

Масса смолы растворимой определяется на основании содержания углерода в смоле в количестве 79,5 мас.%, т. е. $M_{\text{смолы р.}} = 6,339 \text{ кг}$.

Исходя из общей массы смолы растворимой находим содержание кислорода и водорода в смоле: $O_2 = 0,789 \text{ кг}$, или 0,0247 кг/моль; $H_2 = 0,51 \text{ кг}$, или 0,255 кг/моль.

На основании состава смолы находим, что ее удельная теплота сгорания составляет $Q_{\text{смолы}} = 35658 \text{ кДж/кг}$.

Известно, что в процессе пиролиза древесины смола растворимая и смола отсадочная выделяются в равных количествах и поэтому принимаем, что выделяется смолы отсадочной $M_{\text{смолы о.}} = 6,339 \text{ кг}$. В итоге общее количество выделяющейся смолы составит 12,678 кг.

Известно, что при пиролизе древесины на образование уксусной кислоты расходуется следующее количество веществ, содержащих в исходных отходах, %: C – 3,51; H_2 – 5,67; O_2 – 5,33.

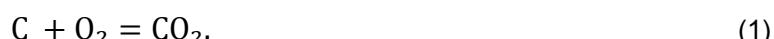
В нашем случае на образование уксусной кислоты расходуется: C = 1,474 кг, или 0,1228 кг/моль; $H_2 = 0,286 \text{ кг}$, или 0,143 кг/моль; $O_2 = 1,836 \text{ кг}$, или 0,0574 кг/моль. Количество образующейся уксусной кислоты составит величину $M_{\text{укс. кис.}} = 3,596 \text{ кг}$.

В зоне пиролиза образуются водяные пары в результате испарения гигроскопической влаги и образования пирогенной влаги. Определим количество водяных паров следующим образом.

В зоне пиролиза испаряется гигроскопическая влага $W_{\text{гигр.}} = 2,0 \text{ кг/моль}$ и пирогенная влага (содержит 60 % O_2 отходов и эквивалентное ему количество H_2). Количество пирогенной влаги составит величину $W_{\text{пир.}} = 23,328 \text{ кг}$, или 1,296 кг/моль. При этом на образование пирогенной влаги расходуется кислорода $O_2 = 0,648 \text{ кг/моль}$, а водорода $H_2 = 1,296 \text{ кг/моль}$.

В результате суммарное количество гигроскопической и пирогенной влаги в виде пара будет равно 3,296 кг/моль.

Определим количество, образующегося в зоне пиролиза диоксида углерода (CO_2), исходя из следующей реакции:

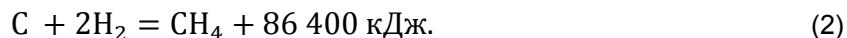


В результате экспериментов установлено, что на образование диоксида углерода расходуется 20 % O_2 , содержащегося в исходных отходах.

Таким образом в нашем случае количество кислорода, расходуемого на образование CO_2 составит величину $O_2 = 0,215 \text{ кг/моль}$.

При расходовании такого количества кислорода согласно (1) образуется 0,215 кг/моль CO_2 и расходуется 0,215 кг/моль углерода.

Определим количество образующегося в зоне пиролиза метана (CH_4). Известно, что при пиролизе древесины на образование метана расходуется 3 % водорода (H_2), содержащегося в исходных отходах, или в нашем случае 0,0756 кг H_2 . Запишем реакцию образования метана в общем виде:



Из (2) следует, что для образования метана на 12 кг С расходуется 4 кг H_2 и образуется 16 кг CH_4 .

Следовательно, при расходе 0,0756 кг H_2 получим 0,3024 кг метана, или 0,0189 кг/моль CH_4 , а расход углерода составит 0,0142 кг/моль.

Экспериментально установлено, что при пиролизе древесины образуется этилен и на его образование расходуется 3 % водорода, содержащегося в исходных отходах. Запишем реакцию образования этилена:



Расход водорода на образование этилена $M_{\text{H}_2} = 0,1512$ кг, или 0,0756 кг/моль H_2 , а расход углерода составит С = 0,4536 кг/моль.

В этом случае согласно (3) образуется 1,0584 кг этилена, или 0,0378 кг/моль C_2H_4 .

В процессе пиролиза древесины образуется метиловый спирт CH_3OH в количестве до 2,3 мас.% от веса абсолютно сухой древесины, т. е. в нашем случае – 1,93 кг метилового спирта.

Следовательно, на образование 1,93 кг метилового спирта расходуется: углерода – 0,724 кг, или 0,060 кг/моль; водорода – 0,241 кг, или 0,121 кг/моль; кислорода – 0,965 кг, или 0,0301 кг-моль.

Поскольку выше мы рассмотрели все реакции в зоне пиролиза с участием водорода, то остаточный водород отходов идет в газ пиролиза в свободном состоянии. Составим баланс водорода (табл. 1).

Таблица 1. Расход водорода в зоне пиролиза древесины

Table 1. Hydrogen consumption in the zone of wood pyrolysis

Компонент	Расход водорода, кг/моль
Пирогенная влага	1,2960
Метан	0,0756
Этилен	0,0756
Смола	0,5100
Уксусная кислота	0,1430
Метиловый спирт	0,1210
ИТОГО:	2,2210

Остаток водорода равен $\text{H}_2 = 2,520 - 2,221 = 0,299$ (кг/моль).

В зоне пиролиза древесины образуется оксид углерода (CO). На образование оксида углерода расходуется остаточный кислород топлива. Составим баланс расхода кислорода (табл. 2).

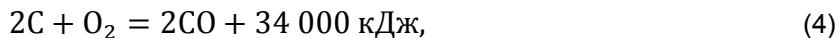
Таблица 2. Расход кислорода в зоне пиролиза древесины

Table 2. Oxygen consumption in the zone of wood pyrolysis

Компонент	Расход кислорода, кг/моль
Пирогенная влага	0,6480
Диоксид углерода	0,2150
Смола	0,0490
Уксусная кислота	0,0574
Метиловый спирт	0,0301
ИТОГО:	0,9990

Остаток кислорода составит величину $\text{O}_2 = 0,080$ кг/моль.

Поскольку образование окиси углерода происходит по реакции



то согласно (4) при расходовании 0,080 кг/моль O_2 , или 2,56 кг окиси углерода, образуется 4,48 кг, или 0,16 кг/моль CO. Определим состав газа пиролиза (табл. 3).

Таблица 3. Состав газа пиролиза древесины**Table 3. Gas composition of wood pyrolysis**

Компонент	Содержание	
	кг-моль	кг
Диоксид углерода	0,3229	9,2400
Оксид углерода	0,1620	4,4800
Метан	0,0189	0,3240
Этилен	0,0378	1,0584
Водород	0,2990	0,5980
Уксусная кислота	0,0599	3,5960
Метиловый спирт	0,0600	1,9300
Смола	0,1050	12,6780
Вода	1,2960	23,3280
ИТОГО:	2,3615	57,2324

Сравнение расчетных данных с экспериментальными данными по пиролизу древесины, показывает, что расхождение в среднем не превышает 3 %, что подтверждает правомерность принятых допущений при расчете процессов в зоне пиролиза [3].

В зону газификации переходит остаточный углерод.

Составим баланс углерода (табл. 4).

Таблица 4. Баланс углерода в зоне пиролиза древесины**Table 4. Carbon balance in the zone of wood pyrolysis**

Компонент	Расход углерода, кг
Диоксид углерода	2,582
Оксид углерода	1,944
Метан	0,243
Этилен	0,907
Смола растворимая	5,040
Смола осадочная	5,040
Метиловый спирт	0,724
Уксусная кислота	1,954
ИТОГО:	17,954

Принимаем, что в золе содержание углерода составляет 10 % и поэтому количество золы будет $M_3 = A^P + 0,1M_3$. Для нашего случая $M_3 = 2,772$ кг, а количество углерода в золе составит величину 0,252 кг и поэтому в зону газификации поступает $M_F = 23,798$ кг, или 1,983 кг/моль.

Для расчета состава газа в зоне газификации составим систему из уравнений (5–9).

$$CO + CO_2 = 1,983 \text{ кг/моль.} \quad (5)$$

Это уравнение (5) отражает тот факт, что из 1 кг/моль углерода, содержащегося в подаваемом в зону газификации остатке, может образоваться 1 кг/моль оксида (CO), или диоксида (CO_2) углерода.

В зону газификации подается воздух с влажностью 50 % при температуре 15 °C в количестве 144,67 кг/ч (112,1 $\text{nm}^3/\text{ч}$ при нормальных условиях $T = 273^\circ$ и $P = 101 \text{ кПа}$). Поскольку воздух при 50%-ной влажности и температуре 15 °C содержит 8,114 г водяного пара на 1 кг воздуха, то в зону газификации с воздухом поступает количество водяного пара $M_{H_2O} = 1,174 \text{ кг/ч}$, или 0,065 кг/моль.

Известно, что при разложении 1 кг/моль водяного пара образуется 1 кг/моль водорода и поэтому баланс водорода будет следующий (6):

$$H_2 + H_2O_{\text{НП}} = W_{\text{НП}} = 0,065 \text{ кг/моль,} \quad (6)$$

где $H_2O_{\text{НП}}$ – неразложившийся водяной пар.

$$\frac{CO \cdot H_2O}{CO_2 \cdot H_2} = 2. \quad (7)$$

Данное уравнение (7) отражает зависимость между компонентами газа:

$$\frac{\text{CO} + \text{CO}_2}{\text{N}_2} = 0,5. \quad (8)$$

Уравнение (8) отражает зависимость между компонентами газа и количеством поступающего с воздухом азота:



Уравнение баланса кислорода (9) означает, что кислород на образование диоксида и оксида азота идет из кислорода воздуха и кислорода разложившегося водяного пара.

На основании решения системы уравнений (5–9) определим состав газа газификации, кг/моль:

$$\text{CO}_2 - 0,1807; \text{CO} - 1,8023; \text{H}_2 - 0,0541; \text{N}_2 - 3,966; \text{H}_2\text{O} - 0,0108.$$

В зоне восстановления газ пиролиза смешивается с газом газификации и в результате формируется окончательный состав газа на выходе из реактора (табл. 5).

Таблица 5. Состав газа на выходе из реактора

Table 5. Gas composition on reactor exit

Компонент газа	Масса, кг
Диоксид углерода	17,181
Оксид углерода	54,992
Метан	0,324
Этилен	1,058
Водород	0,706
Азот	111,040
Водяной пар	59,576

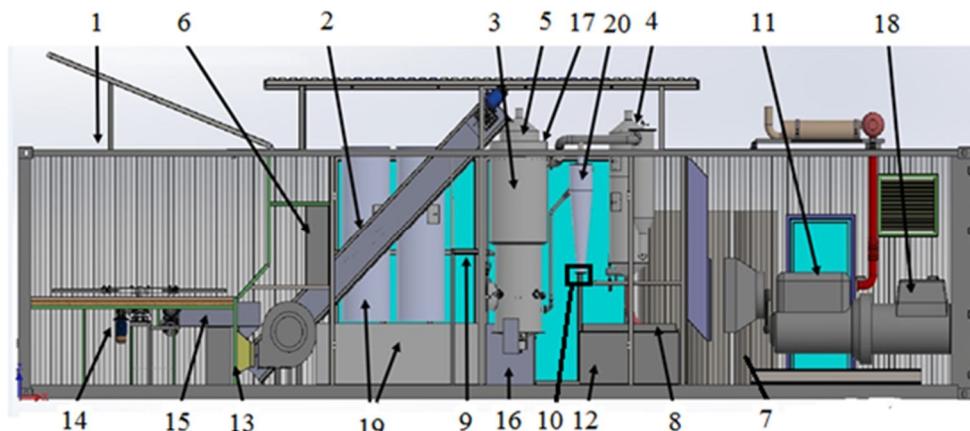
Плотность газа при нормальных физических условиях $1,177 \text{ кг/м}^3$, а удельная теплота сгорания после осушки до влажности 4 % составит величину $Q_H = 3863 \text{ кДж/кг}$.

Опытная газогенераторная электростанция. Создана и введена в эксплуатацию газогенераторная станция (см. рисунок), работающая на древесной щепе, а также смесях щепы с другими видами органических отходов (резиновые чипсы, сельскохозяйственные отходы и др.).

Схема электростанции приведена на рисунке. Электростанция генерирует 100 кВт электрической мощности и потребляет 84 кг/ч древесной щепы в расчете на абсолютно сухую древесину.

Древесную щепу, или смесь других отходов со щепой загружают в бункер-накопитель 1, на котором отходы подсушивают до относительной влажности 15–20 мас. % путем фильтрации нагретого воздуха через слой отходов. Подсушенные отходы с помощью транспортера 2 загружают в газогенератор 3, в котором протекает процесс газификации отходов с образованием газа и золы. Из газогенератора 3 газ выводят в скруббера 4 и 5, в которых осуществляют грубую очистку газа. Регулируют работу электростанции с помощью шкафа управления 6. Далее газ очищают в сухом фильтре тонкой очистки 7. Образующиеся в процессе очистки газа отходы сливают в ящик оборотной воды 8. Для обслуживания газогенератора предусмотрена площадка 9, а для очистки циклона 20 используется автоматическая заслонка 10. Очищенный газ подают в двигатель внутреннего сгорания 11, подключенный к электрическому генератору 18. Оборотную воду для охлаждения пропускают через воздушный калорифер и нагревают воздух, подаваемый в бункер 1 для подсушки отходов. При этом с помощью подвижного dna 14 отходы перемешивают и шнеком 15 подают в транспортер 2, который загружает отходы в воронку 17 газогенератора 3. С помощью насосов 16 прокачивают обратную воду через градирню 19. Очистку газа от пыли осуществляют в циклоне 20.

Электростанция работает в непрерывном режиме и подает электрическую энергию в сеть.



Опытная газогенераторная электростанция:

- 1 – загрузочный бункер-накопитель; 2 – транспортер подачи из бункера-накопителя в воронку-приемник;
 3 – газогенератор; 4 – скруббер 1-й ступени; 5 – скруббер 2-й ступени; 6 – шкаф управления;
 7 – сухой фильтр тонкой очистки газа; 8 – ящик обратной воды; 9 – площадка для обслуживания;
 10 – автоматическая заслонка очистки циклона; 11 – двигатель внутреннего горения;
 12 – теплообменник обратной воды; 13 – воздушный калорифер; 14 – механизм подвижного дна;
 15 – шнек; 16 – насосы подачи обратной воды; 17 – воронка-приемник; 18 – генератор;
 19 – градирня охлаждения; 20 – циклон

Experienced gas-generating power plant:

- 1 – loading bunker; 2 – flow transporter from the bunker-accumulator to the funnel-receiver; 3 – gas generator;
 4 – scrubber 1st step; 5 – scrubber 2nd steps; 6 – control cabinet; 7 – dry filter of fine gas purification;
 8 – a box of revolving water; 9 – a service area; 10 – automatic damper of cyclone cleaning;
 11 – internal combustion engine; 12 – heat exchanger of revolving water; 13 – air calorie;
 14 – the mechanism of the rolling bottom; 15 – schnek; 16 – pumps of revolving water supply;
 17 – receiver funnel; 18 – generator; 19 – cooling tower; 20 – cyclone

Заключение. Опыт эксплуатации электростанции показал высокую эффективность получения газообразного топлива из отходов (суммарный КПД – не ниже 75,5 %, а электрический КПД – 29 %).

В процессе работы электростанции были отобраны пробы газа, исследован его состав и определена удельная теплота сгорания.

Сравнение полученных опытных данных с расчетными показало, что разработанная методика расчета термохимической конверсии отходов в газообразное топливо позволяет с погрешностью не более 4 % рассчитывать состав газа, расход топлива, коэффициент полезного действия, удельную теплоту сгорания газа.

Список использованных источников

- Малышевский, А. Ф. Обоснование выбора оптимального способа обезвреживания твердых бытовых отходов / А. Ф. Малышевский. – М. : Минприроды и экологии Российской Федерации, 2012. – 47 с.
- Аристархов, Д. В. Паровой термолиз органических отходов / Д. В. Аристархов, Н. Н., Егоров Г. И. Журавский ; под ред. акад. О. Г. Мартыненко. – Минск : Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова, 2001. – 135 с.
- Технология и оборудование лесохимических производств / Л. В. Гордон, В. В. Фефилов, С. О. Скворцов, В. И. Лисов. – М. : Лесная промышленность, 1979. – 288 с.

References

- Malyshevsky A. F. *Obosnovanie vybora optimalnogo sposoba obezvregivaniya tverdykh bytovych otchodov* [Justification for choosing the best way to neutralize solid household Waste]. Moscow, Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation Publ., 2012, 47 p. (in Russian)
- Aristarchov D. V., Egorov N. N., Zhuravsky G. I. *Parovoy termolis organicheskikh otchodov* [Steam thermolysis of organic waste]. Under Ed. Acad. O. G. Martynenko. Minsk, A. V. Lykov Institute of Heat and Mass Transfer Publ., 2001, 135 p. (in Russian)

3. Gordon L. V., Fefilov V. V., Skvortsov S. O., Lisov V. I. *Technologiya i oborudovanie lesochimicheskikh proizvodstv* [Technology and Equipment of Forest Chemical Industrie.]. Moscow, Forest Industry Publ., 1979, 288 p. (in Russian)

Информация об авторах

Журавский Геннадий Иванович – доктор технических наук, главный научный сотрудник, Институт теплопереноса и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларусь (ул. П. Бровки, 15, 220072, г. Минск, Беларусь). E-mail: gena.zjuravsky@gmail.com

Петренко Павел Александрович – инженер, Общество с ограниченной ответственностью «Модум-Техно» (ул. Володько, 6, 220007, г. Минск, Беларусь). E-mail: pavel.piarenko@gmail.com

Information about the authors

Gennadi I. Zhuravsky – D. Sc. (Technical), Chief Researcher, A. V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (15, P. Brovka Str., 2200072, Minsk, Belarus). E-mail: gena.zjuravsky@gmail.com

Pavel A. Petrenko – Engineer, Modum-Techno Limited, (6, Volodko Str., 22000, Minsk, Belarus). E-mail: pavel.piarenko@gmail.com

ДИСКУССИИ
DISCUSSIONS

УДК 550.83:551.14+551.311+551.242.5+551.243.12(476)

Поступила в редакцию 20.03.2020

Received 20.03.2020

**ГИПОТЕЗА О НАЛИЧИИ ТРАППОВОГО ПОКРОВА
 В РАЗРЕЗЕ ОРШАНСКОЙ ВПАДИНЫ**

Р. Г. Гарецкий, Г. И. Карапаев

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. В результате сравнения наблюденного аномального магнитного поля юго-западной части Русской плиты и области развития Сибирских траппов сделан вывод об их сходстве. Идентичность наблюденных магнитных полей территории Подлясско-Брестской и Оршанской впадин позволяет предполагать возможное развитие в разрезе Оршанской впадины траппового покрова. Расчёты глубины залегания верхних кромок возмущающих магнитоактивных тел свидетельствуют, что они расположены на небольших глубинах (0,1–1,0 км), а расчеты нижних кромок показывают, что мощность этих тел колеблется в пределах 600–700 м. Построена схема рельефа кровли поверхности магнитоактивного слоя возможно трапповой природы. Эта поверхность совпадает с сейсмической границей, ранее интерпретируемой как поверхность фундамента.

Ключевые слова: магнитное поле; трапповый покров; Оршанская впадина.

Для цитирования. Гарецкий Р. Г., Карапаев Г. И. Гипотеза о наличии траппового покрова в разрезе Оршанской впадины // Природопользование. – 2020. – № 1. – С. 172–178.

**HYPOTHESIS ABOUT THE PRESENCE OF TRAP COVER
 IN THE SECTION OF ORSHA DEPRESSION**

R. G. Garetsky, G. I. Karataev

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

Abstract. As a result, the comparison of the observed anomalous magnetic field of the southwestern part of the Russian plate and the area of development of the Siberian traps concluded that they are similar. The identity of the observed magnetic fields of the territory of the Podlasko-Brest and Orsha depressions allows us to assume the possible development of the trap cover in the section of the Orsha depression. Calculations of the depth of the upper edges of disturbing magnetoactive bodies indicate that they are located at shallow depths (0.1-1.0 km), and calculations of the lower edges show that the power of these bodies varies within 600–700 m. A scheme of the roof topography of the surface of a magnetoactive layer of possibly trap-like nature is constructed. This surface coincides with the seismic boundary previously interpreted as the Foundation surface.

Keywords: the magnetic field; trap cover; Orsha depression.

For citation. Garetsky R. G., Karataev G. I. Hypothesis about the presence of trap cover in the section of Orsha depression. *Nature Management*, 2020, no. 1, pp. 172–178.

В монографии [1] опубликована Обзорная карта распространения магматических образований вендинской трапповой формации запада Русской плиты (рис. 1) [1]. На Карте в юго-западной части Русской плиты, в том числе и на территории Подлясско-Брестской впадины [2], выделена по данным бурения эфузивно-осадочная толща вендинской трапповой формации.

В наблюденном аномальном магнитном поле [3] эта толща отмечается специфическим морфоструктурным полем, характерным для Сибирских траппов [4].

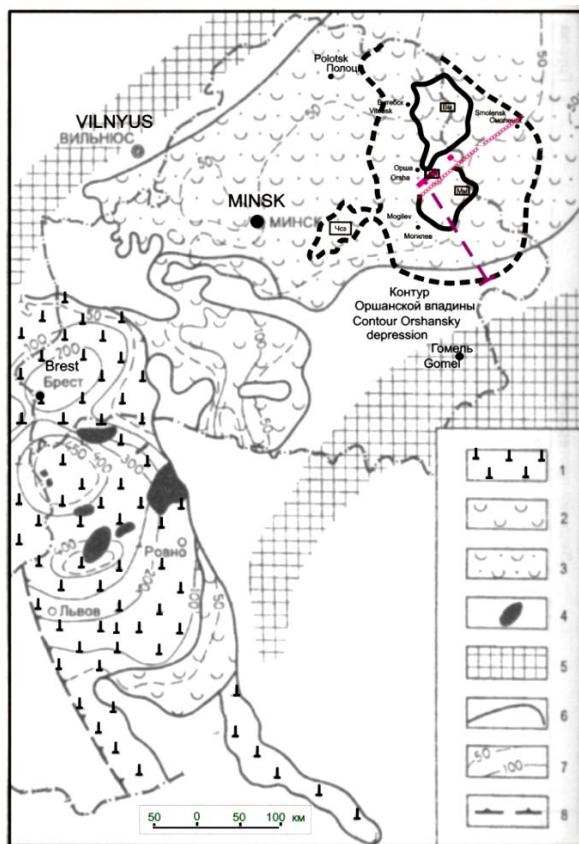


Рис. 1. Обзорная карта распространения образований вендской траповой формации запада Русской плиты по работе [1] с авторскими дополнениями (контуры Оршанской впадины): 1 – область развития эфузивных и пирокластических пород; 2 – то же преимущественно пирокластических пород (тuffов, туффитов); 3 – то же преимущественно тufогенными и осадочных пород; 4 – район наибольшего проявления интрузивного трапового магматизма; 5 – области сноса терригенного материала; 6 – граница современного распространения вулканогенных и вулканогенно-осадочных образований траповой формации венда; 7 – изопахиты; 8 – юго-западная граница Восточно-Европейской платформы

Fig. 1. Overview map of the distribution of magmatic formations of the Vendian trap formation of the west of the Russian plates according to [1] with copyright additions (contours of the Orsha depression): 1 – area of development of effusive and pyroclastic rocks; 2 – the same mainly pyroclastic rocks (tuff, tuffite); 3 – the same mainly tufogenic-sedimentary and sedimentary rocks; 4 – the area of the greatest manifestation of intrusivetraps magmatism; 5 – areas of demolition of terrigenous material; 6 – the border of the modern distribution of wukanogen and wulanogen-sedimentary formations trap form Wenda; 7 – isopach; 8 – south-western border of the East European platform

Как видим, аномальное магнитное поле над траповой формацией сложно ориентированное, мелкоизрезанное, с очень высокими горизонтальными градиентами и представлено своеобразным сплошным «магнитным покровом». Как известно, траппы – массивные эфузивные породы, образовавшиеся в результате застывания на земной поверхности или вблизи нее; лавы, излившейся по вулканическим каналам или трещинам в земной коре, сопровождаемые большим числом интрузивных пластовых жил – силлов; образуются на платформах, в континентальных условиях. Предполагается, что трапповые толщи образованы излиянием основных магм, поднимающихся из мантии с больших глубин. В состав трапповых толщ входят толеиты, базальты, диабазы, долериты, авгитовые и другие порфириты, имеющие самую различную структуру и сложение; стекловатые, долеритовые, офитовые породы; массивные миндалевидные, иногда шаровые лавы. Трапповые покровы создают специфической морфоструктуры магнитные поля, обусловленные развитием в траппах титаномагнетита. Как правило, породы «траппов» богаты вторичными минералами, образованными при изменении первичных минералов. В трапповые комплексы входит большое количество осадков, частично контактно метаморфизованных под воздействием магматических пород и под действием гидротермальных растворов, сопровождающих трапповый вулканизм. С трапповыми областями связаны многие полезные ископаемые (например, алмазы, исландский шпат, цеолиты, графит) [5].

Строение Оршанской впадины показано на рис. 2.

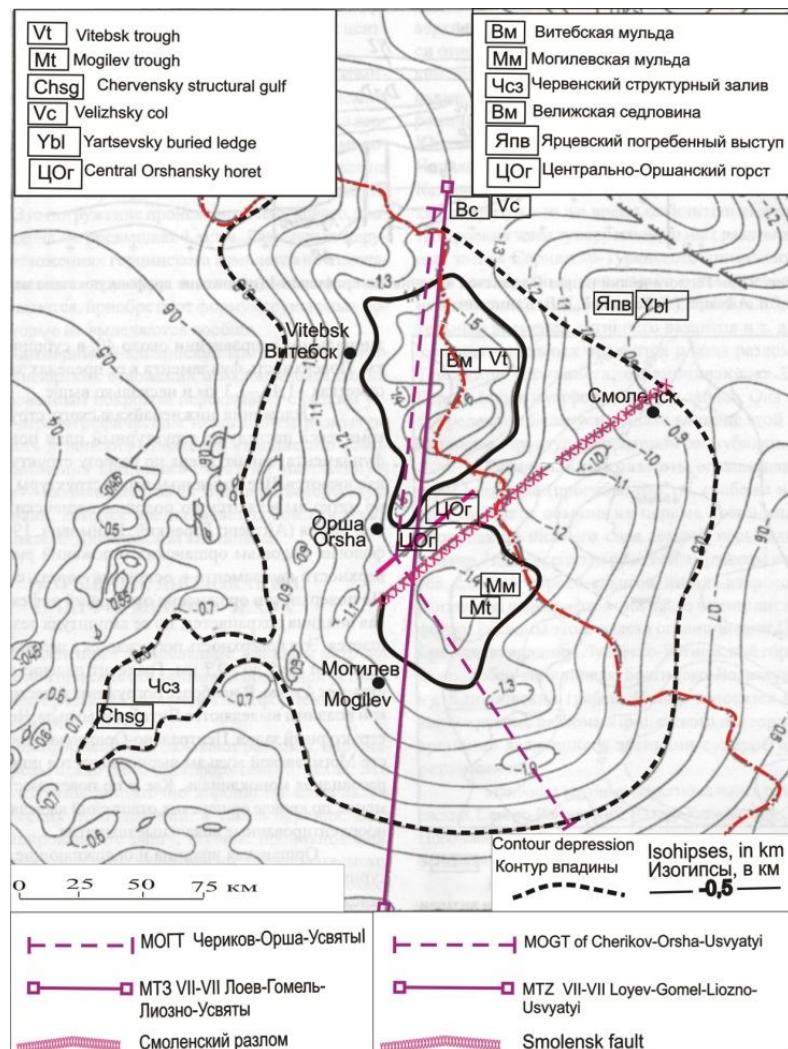


Рис. 2. Оршанская впадина: основные тектонические элементы по поверхности фундамента и положение геофизических профилей. Рисунок составлен авторами по материалам работы [1]

Fig. 2. Orsha Depression: the main tectonic elements along the basement surface and the position of geophysical profiles. The drawing was compiled by the authors based on materials [1]

На основании идентичности наблюденных полей на территориях Подляско-Брестской (рис. 3) и Оршанской (рис. 4) впадинах мы приходим к выводу о возможном развитии в разрезе Оршанской впадины траппового покрова. Поэтому на рис. 1 в его северной части условный знак туфогенно-осадочной толщи необходимо заменить на условный знак трапповой формации (или эфузивно-осадочной толщи).

Территория Оршанской впадины и ее окрестностей обеспечена аэромагнитными съемками в масштабе 1 : 50 000 и 1 : 200 000, выполненными под руководством Б. П. Травникова и в последующем обобщенными И. В. Данкевичем (Степянская геофизическая экспедиция РУП «Белгеология») в виде «Карты наблюденного аномального магнитного поля Беларуси масштаба 1 : 500 000» [3]. Фрагменты этой карты приведены на рис. 3 и 4.

Высокие градиенты аномалий свидетельствуют о неглубоко залегающих магнитоактивных телах. По материалам Гомельской и Червенской аэромагнитных партий по 2280 локализованным магнитным аномалиям по методике В. К. Пятницкого [6] были рассчитаны глубины залегания верхних кромок возмущающих магнитоактивных тел. Построенная по этим глубинам вариационная диаграмма имеет два экстремума (см. рис. 4), свидетельствующие, что подавляющее большинство магнитных тел фиксируется на небольших глубинах (0,1–1,0 км); по расчетам нижних кромок магнитоактивных тел их мощность колеблется в пределах 600–700 м.

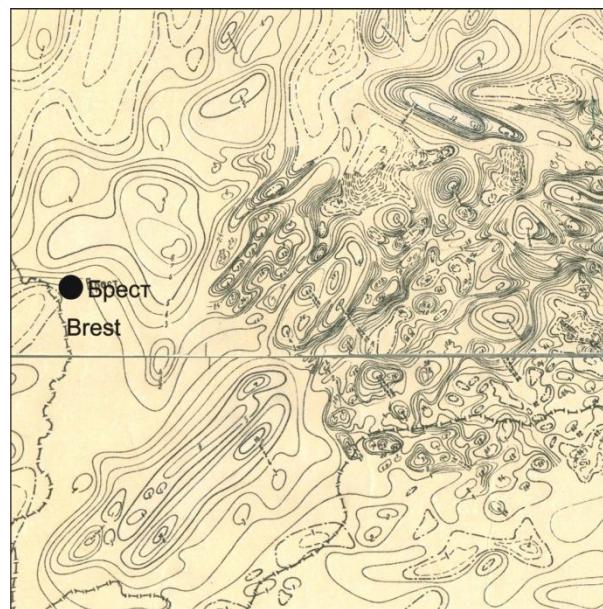


Рис. 3. Наблюденное аномальное магнитное поле над траповой формацией в юго-западной части региона [3]

Fig. 3. The observed anomalous magnetic field above the trap formation in the southwestern part of the region [3]

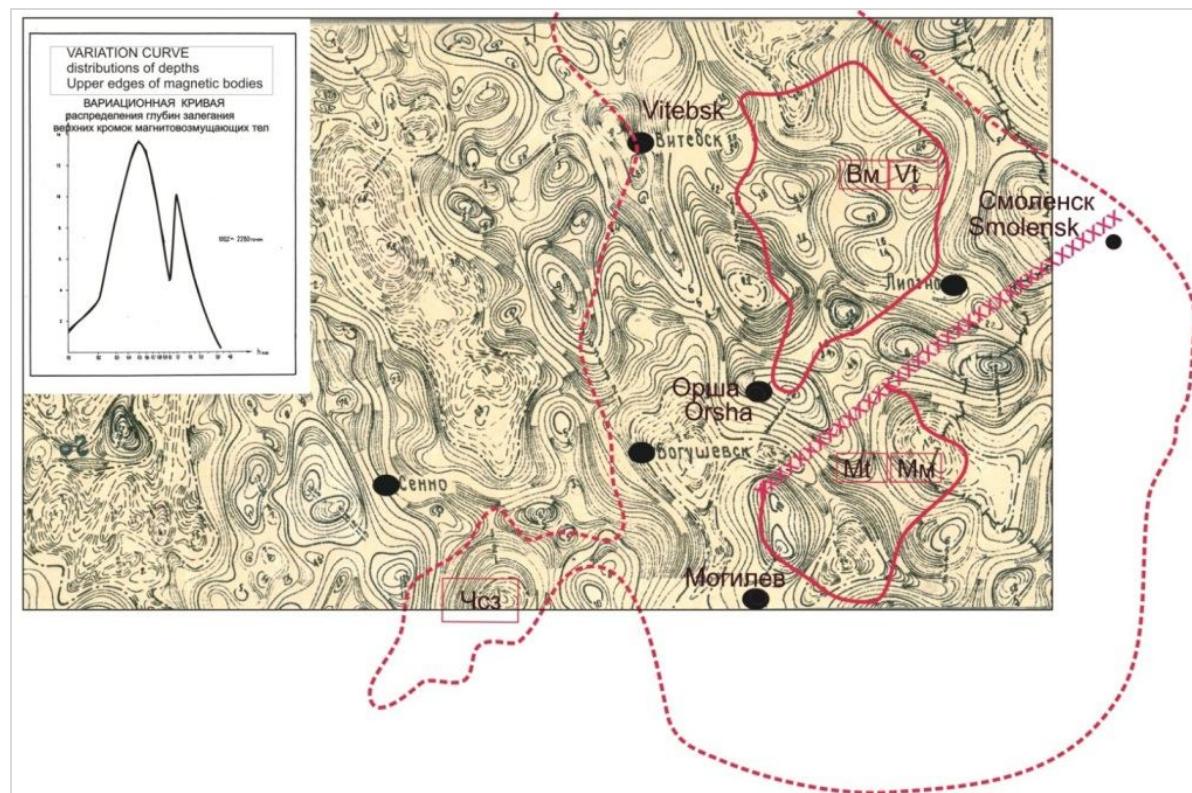


Рис. 4. Наблюденное аномальное магнитное поле в Оршанской впадине и ее окрестностях [3]

Fig. 4. The observed anomalous magnetic field in the Orsha Depression and its environs [3]

Используя наименьшие значения глубин магнитоактивных масс, нами для всей площади Оршанской впадины построена поверхность магнитоактивного слоя, интерпретируемая как поверхность магнитовозмущающих масс трапповой природы (рис. 5).

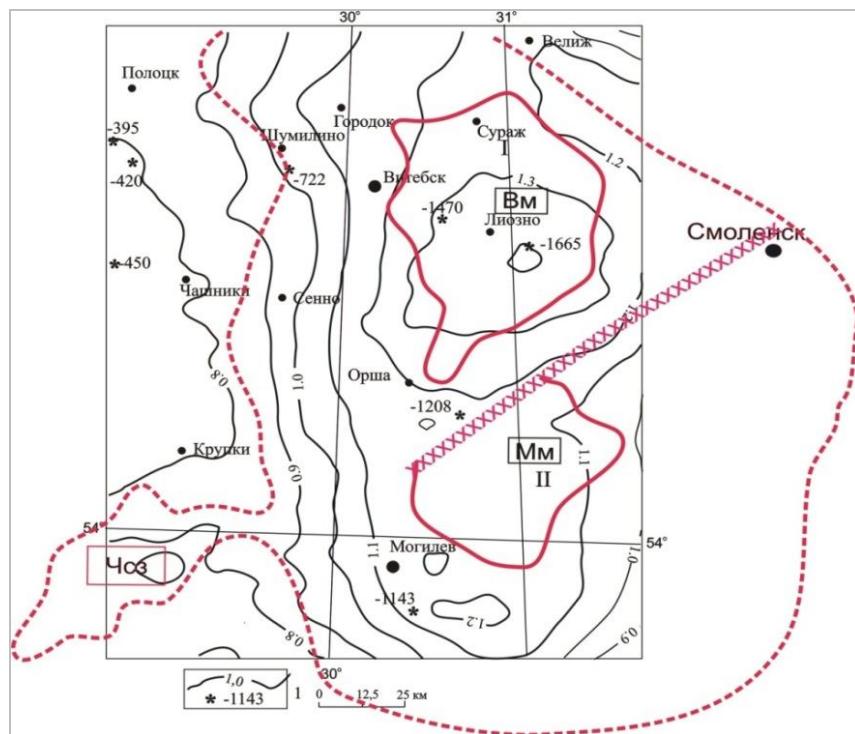


Рис. 5. Схема рельефа кровли (поверхности) магнитоактивного слоя в разрезе Оршанской впадины; составлена авторами. 1 – изолинии поверхности магнитоактивного слоя, км; скважины и значения абсолютных отметок до поверхности сейсмической границы, интерпретируемой [6, 7] как поверхность фундамента, м. Остальные обозначения те же, что и на рис. 2

Fig. 5. Scheme of the relief of the roof of the magnetically active layer in the context of the Orsha Depression; compiled by the authors. 1 – contour of the surface of the magnetically active layer, km; wells and absolute elevations to the surface of the seismic boundary, interpreted [6, 7] as the surface of the foundation, m. Other designations same as on fig. 2

На рис. 6 показано сравнение поверхности магнитоактивного слоя трапповой природы с сейсмической границей поверхности фундамента по [7, 8].

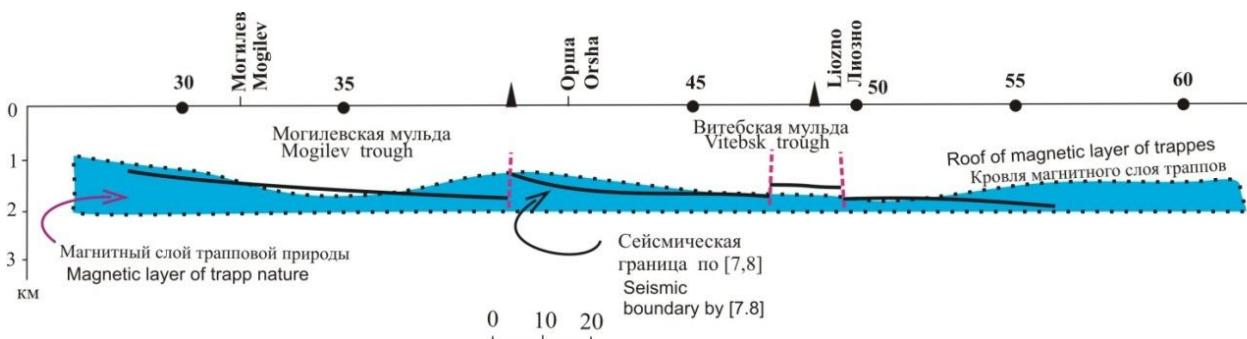


Рис. 6. Соотношение кровли магнитоактивного слоя трапповой природы и сейсмической границы по работам [7, 8]. Составлен авторами по изложенным материалам

Fig. 6. Correlation of the roof of the magnetically active layer of trap nature and the seismic boundary according to [7, 8]. Compiled by the authors based on the materials presented

Наиболее четко в поверхности магнитоактивного слоя выражена Витебская мульда с глубиной в ее центральной части до 1,7 км; для Могилевской же мульды характерно слабое моноклинальное падение этой поверхности в северном направлении. Нетрудно видеть (рис. 6) хорошую пространственную корреляцию поверхности магнитного слоя и сейсмической границы по [7, 8], свидетельствующей о том, что сейсмическая граница зафиксирована внутри платформенного чехла. Заметим, что для трапповой формации скорость продольных сейсмическим волн около 4,8 км/с [9]. Для кристаллического же фундамента характерны скорости сейсмических волн в пределах 5,0–6,0 км/с [9].

Таким образом, изложенные материалы свидетельствуют, что в пределах Оршанской впадины имеет место крупный по площади вендинский трапповый покров мощностью выше 600–700 м, верхняя граница которого ошибочно интерпретируется в работе [7, 8] как поверхность кристаллического фундамента.

Список использованных источников

- Геология Беларуси / под ред. А. Махнача [и др.]. – Минск : Институт геологических наук НАН Беларуси, 2001. – 814 с.
- Зиновенко, Г. В. Балтийско-Приднестровская зона перикратонных опусканий / Г. В. Зиновенко. – Минск : Наука и техника, 1986. – 215 с.
- Карта аномального магнитного поля Белоруссии. Масштаб 1 : 500 000 / ред. И. В. Данкевич ; РУП «Белгеология». Степянская геофизическая экспедиция, 1984.
- Карта аномального магнитного поля России, сопредельных государств (в границах бывшего СССР) и прилегающих акваторий, эпоха 1964, 1965 гг. Масштаб 1 : 500 000 / ред. Т. П. Литвинова. – СПб. : ВСЕГЕИ, 1974.
- Горная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mining-enc.ru/t/trappy/>.
- Каратайев, Г. И. Методика построения физико-геологического разреза по комплексу геофизических полей / Г. И. Каратайев, С. В. Голобоков // Литасфера. – 2003. – № 2 (19). – С. 74–84.
- О тектонике Оршанской впадины и ее соотношении со структурами фундамента // Р. Е. Айзберг, Р. Г. Гарецкий, И. Д. Кудрявец, Т. А. Старчик. О тектонике Оршанской впадины и ее соотношении со структурами фундамента // Докл. Нац. акад. наук Беларусь. – 2004. – Т. 48, № 1. – С. 88–92.
- Региональное сейсмопрофилирование методом общей глубинной точки в Оршанской впадине / И. Д. Кудрявец, Р. Е. Айзберг, Р. Г. Гарецкий, Я. Г. Грибик, Т. А. Старчик, В. И. Шкуратов // Докл. Нац. акад. наук Беларусь. – 2003. – Т. 47, № 6. – С. 108–112.
- Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справ. геофизика / ред. Н. Б. Дортман. – М. : Недра, 1976. – 527 с.

References

- Geologija Belarusi* [Geology of Belarus]. Under the ed. of A. Makhnach, R. Goretsky, A. Matveev and et al. Minsk, Institute of Geological Sciences, National Academy of Sciences of Belarus, 2001, 814 p. (in Russian)
- Zinovenko G. V. *Baltiysko-Pridnestrovskaya zona perikratonnikh opuskanij* [Baltic-Transnistrian zone of pericraton subsidence]. Minsk, 1986, 215 p. (in Russian)
- Karta anomalnogo magnitnogo poliya Belarusi. Masshtab 1:500000* [Map of the abnormal magnetic field of Belarus. Scale 1:500000. Ed. I. V. Dankevich]. RUP Belgeologija. Stepyanskaya geofizicheskaya expediya [RUE 'Belgeology. Stepan Geophysical Expedition'], 1984. (in Russian)
- Karta anomalnogo magnitnogo poliya Rossii. Masshtab 1:500000* [Map of the anomalous magnetic field of Russia. Scale 1:500000. Ed. T. P. Litvinova]. Saint Petersburg, 1974. (in Russian)
- Mountain Encyclopedia [Electronic resource]. Mode of access: <http://www.mining-enc.ru/t/trappy/>. (in Russian)
- Karatayev G. I., Golobokov S. V. *Metodika postroeniya fiziko-geologicheskogo razreza po kompleksu geofizicheskikh polej* [Methodology for constructing a physical and geological section using a complex of geophysical fields]. *Lithosphere*, 2003, no. 2(19), pp. 74–84. (in Russian)
- Ayzberg R. E., Garetsky R. G., Kudryavets I. D., Starchik T. A. *O tectonike Orshanskoy vpadini i ee sootnoshenii so structurami fundamenta* [On the tectonics of the Orsha Depression and its relationship with the basement structures]. *Dokladi NAN Belarusi = Reports of the NAS of Belarus*, 2004, vol. 48, no. 1, pp. 88–92. (in Russian)
- Kudryavets I. D., Aizberg R. E., Garetsky R. G., Gribik Y. G., Starchik T. A., Shkuratov V. I. *Regionalnoe seismoprofilirovanie metodom obshchey glubinnoy tochki v Orshanskoy vpadine* [Regional seismic profiling using the common deep point method in the Orsha Depression]. *Dokladi NAN Belarusi = Reports of the NAS of Belarus*, 2003, vol. 47, no. 6, pp. 108–112. (in Russian)
- Fizicheskie svoystva gornikh porod i poleznikh iskopаемikh (petrofizika)* [Physical properties of rocks and minerals (petrophysics)]. *Spravochnik geofizika. Red. N. B. Dortman* [Ref. geophysics]. Moscow, 1976, 527 p. (in Russian)

Информация об авторах

Гарецкий Радим Гаврилович – академик, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

Каратайев Герман Иванович – доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: german031031@gmail.com

Information about the authors

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

German I. Karataev – D. Sc. (Geology and Mineralogy), Professor, Chief Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: german031031@gmail.com

О ЛИТОСФЕРЕ И АСТЕНОСФЕРЕ В ЗОНЕ ПРИПЯТСКОГО И ДНЕПРОВСКОГО ПАЛЕОРИФТОВЫХ ПРОГИБОВ

Р. Е. Айзберг

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Рассмотрены геофизическая основа и геологическая интерпретация моделей строения и условий формирования земной коры и подкоровой верхней мантии, представленных в статье Р. Г. Гарецкого и Г. И. Карапаева «Астеносфера – ведущий фактор формирования Припятского и Днепровского грабенов» (журнал «Природопользование». Минск. 2019. № 1). Показана степень геолого-геофизического обоснования указанных моделей.

Ключевые слова: Припятский и Днепровский палеорифты; литосфера; астеносфера; геофизические модели; глубинное сейсмическое зондирование.

Для цитирования. Айзберг Р. Е. О литосфере и астеносфере в зоне Припятского и Днепровского палеорифтовых прогибов // Природопользование. – 2020. – № 1. – С. 179–186.

ABOUT LITHOSPHERE AND ASTENOSPHERE IN THE ZONE OF PRIPYAT AND DNIERPER PALEORIFT TROUGH

R. E. Aizberg

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

Abstract. Consideration of the geophysical basis and the geological interpretation of models of the structure and formation conditions of the earth's crust and subcrustal mantle presented in the article by R. G. Garetsky and G. I. Karataev 'The Asthenosphere is a leading factor in the formation of the Pripyat and Dnieper grabens' (journal 'Nature Management'. Minsk, 2019, no. 1). The degree of geological and geophysical substantiation by appropriate models is shown.

Keywords: Pripyat and Dnieper paleorifts; lithosphere; asthenosphere; geophysical models; deep seismic sounding.

For citation. Aizberg R. E. About lithosphere and astenosphere in the zone of Pripyat and Dnieper paleorift trough. *Nature Management*, 2020, no. 1, pp. 179–186.

В журнале «Природопользование» (№ 1, 2019 г.) опубликована статья Р. Г. Гарецкого и Г. И. Карапаева «Астеносфера – ведущий фактор формирования тектоносферы Припятского и Днепровского грабенов» [1]. Авторы рассматриваемой статьи длительное время изучают проблемы глубинного строения земной коры и верхней мантии Беларуси, в том числе Припятского палеорифта. В характеризуемой работе они сопоставляют строение и условия формирования Припятского и Днепровского палеорифтов на основе преимущественно собственных работ, публикаций иных исследователей и с учетом результатов глубинных сейсмических зондирований (ГСЗ) по международному проекту «Георифт-2013». Новые сейсмические данные по этому проекту обрабатывались, в основном, в геофизических академических институтах Украины и Польши. Созданные на этой основе сейсмоскоростные модели земной коры и верхней мантии по профилю Несвиж – Брагин – Чернигов – Полтава были предоставлены для интерпретации всем членам рабочей группы проекта, которые в полном составе являются авторами тезисов доклада [2] и заключительной статьи [3] по проекту «Георифт-2013», опубликованной в Оксфорде в Международном геофизическом журнале. В состав рабочей группы проекта и авторского коллектива отмеченных публикаций по проекту «Георифт-2013» входили белорусские исследователи Р. Е. Айзберг, Р. Г. Гарецкий, Г. И. Карапаев, Я. Г. Грибик [2, 3].

К рассматриваемой статье уважаемых коллег Р. Г. Гарецкого и Г. И. Карапаева, в которой обобщены материалы многолетних авторских работ по данной проблеме, нахожу необходимым сделать некоторые замечания.

Общая характеристика представленных моделей (рис. 1–5). На рис. 1, как пишут авторы, «показан исходный сейсмический разрез литосферы по профилю «Георифт-2013» [1, с. 147]. Это утверждение как бы подтверждено соответствующей подрисуночной надписью со ссылкой на публикации предварительного варианта этой модели в 2017 г. и заключительного – в 2018 г. [2, 3]. Однако уважаемые коллеги на рис. 1 показали не *итоговый (заключительный) сейсмический* разрез литосферы по профилю Несвиж – Брагин – Чернигов – Полтава геотрансекта «Георифт-2013», а радикально измененный авторами *свой сейсмический образ* литосферы вдоль указанного профиля. Не представив аутентичный исходный сейсмический профиль [3; с. 13, рис. 6], созданный международной рабочей группой, авторы без каких-либо оговорок публикуют свой вариант разреза, **но ссылку делают на все те же публикации рабочей группы** [2, 3]. В этой связи очевидно, что русскоязычные геологи и геофизики Беларуси, России, Украины и других стран, нерегулярно читающие издающийся в Оксфорде журнал «Geophysical J. Int.», воспримут рис. 1 рассматриваемой статьи как *итоговый* сейсмический разрез литосферы, созданный международной рабочей группой по проекту «Георифт-2013». На доказательной и содержательной основах представленной на рис. 1 модели остановлюсь позднее, но сразу же отмечу, что структура консолидированной коры и верхней мантии на рис. 1 (без каких-либо дополняющих комментариев авторов) резко отличается от исходной публикации в работе [3].

На рис. 2 [1] представлен сейсмо-плотностной разрез вдоль западной (белорусской) части геотрансекта «Георифт-2013». Сейсмической основой разреза является упрощенная версия итоговой модели литосферы геотрансекта «Георифт-2013». Однако авторы не используют опубликованную в этой же работе [3, с. 24, рис. 11] упрощенную модель с определенной сейсмоскоростной характеристикой обособленных под Припятским палеорифтом *высокоскоростной верхней мантии*, а под Днепровским – «просто» *верхней мантии (т. е. относительно низкоскоростной)*. Непосредственно на рис. 2 рассматриваемой статьи Р. Г. Гарецкого и Г. И. Карапаева приведены следующие определения: «*верхняя мантия*» – под Припятским палеорифтом, «*деплетированная верхняя мантия*» – под Днепровским. Именно такие определения были даны применительно к этой модели на первоначально направленной в редакцию «Geophysical J. Int.» рукописи заключительной статьи рабочей группы, но после дискуссии с рецензентами указанные определения при публикации были изменены, как это показано в работе [3]. По непонятной причине на рис. 2 статьи Р. Г. Гарецкого и Г. И. Карапаева [1] в подрисуночной надписи вообще отсутствует ссылка на опубликованный источник сейсмической основы разреза. Нельзя не отметить, что в работе [1] один и тот же слой/подслой в низах консолидированной коры назван авторами по-разному: на рис. 1 – К-М (коро-мантийный) подслой, на рис. 2 – нижняя кора. Последнее определение – это «*графический остаток*» от неопубликованного первого варианта, переданного ранее в редакцию «Geophysical J. Int.» исходной модели структурного расчленения консолидированной коры.

На рис. 3 представлен в предельно обобщенном виде, в общем, достаточно известный разрез земной коры и подкоровый эклогитовый слой с расчетными данными их средней плотности. В более глубоких горизонтах надастеносферной мантии авторы обособили слои «*базальтового расплава*» и «*реликта астеносферы*» мощностью 20 км каждый. Степень обоснованности выделения этих мощных зон рассмотрена ниже.

На рис. 4 приведена изданная в 1994 г. обобщенная с использованием профилей ГСЗ ОГТ (III–III, VIII–VIII, XXII–XXII) сейсмогеологическая и геодинамическая модель поперечного сечения Припятского прогиба на основе сейсмического разреза, опубликованного в 1987 и 1989 г. [4, 5]. Авторы не актуализировали эту первозданную модель поперечной структуры Припятского прогиба, не отметили в тексте результаты переобработки исходных данных ГСЗ ОГТ по профилю VIII–VIII [6] и итоги ГСЗ «ЕвроБридж-97» по тому же профилю VIII [7]. Эти две последние работы существенно изменили представления о поперечном профиле Припятского сегмента литосферы. Наконец, на рис. 5 представлена новая тектонофизическая конвективная модель формирования Припятского и Днепровского грабенов, которая, очевидно, является обобщенным теоретическим результатом исследований авторов по рассматриваемой проблеме.

Обоснование моделей и доказательная база их интерпретации. В статье [1, рис. 1 и 2] я не нашел сколько-нибудь убедительных доказательств, позволявших авторам резко изменить разрез литосферы геотрансекта «Георифт-2013» и при этом сослаться на исходную модель, опубликованную рабочей группой [3]. На рис. 1 [1] нижнекоровый «базальтовый» слой с $V_p = 7,10$ км/с исходной модели рабочей группы интерпретируется как сплошной подслой коро-мантийной смеси. Это соответствует первоначальной сейсмической модели Р. Г. Гарецкого, С. В. Клушина [4, 5], где впервые были обособлены листрические разломы, достигающие раздела Мохо и слоя коро-мантийной смеси. Академик РАН Е. А. Артюшков, анализируя представленную в работе [4] сейсмическую модель, интерпретировал слой коро-мантийной смеси на этом же сейсмическом профиле Р. Г. Гарецкого,

С. В. Клушина как слой гранатовых гранулитов ([8], рис. 1.15). При этом Е. А. Артюшков подчеркнул, что «*в реальных тектонических структурах континентальной коры большие объемы коро-мантийной смеси еще никогда не наблюдались*» ([8], с. 40). И далее (там же, с. 61) «*коро-мантийная смесь в широких масштабах в природе не существует*». Он указывает, что под Днепровским грабеном слой с промежуточными (характерными для зоны коро-мантийной границы) скоростями V_p не представляют собой коро-мантийной смеси, а возник за счет преобразования нижней коры основного состава. При этом погружение континентальной коры с учетом результатов фундаментальных петрологических работ многих исследователей является следствием фазового перехода габбро → гранатовые гранулиты → эклогит, а также растяжения и тепловой релаксации (там же).

Впервые нижний слой консолидированной коры со скоростью распространения продольных волн 7,6–7,8 км/с и расчетной плотностью 3,0 г/см³ был обособлен в пределах Днепровского грабена и назван коро-мантийной смесью В. Б. Соллогубом [9], как это ранее сделал К. Л. Кук для района Скалистых гор США [10]. В. Б. Соллогуб ([9], рис. 59) показал, что ***этот слой в пределах Припятско-Днепровско-Донецкого авлакогена выделяется только юго-восточнее Полтавы в восточной части Днепровского грабена и Донбасса, где поверхность фундамента опускается до 15–18 и даже 21 км.*** На интерпретированных В. Б. Соллогубом [9] глубинных сейсмических разрезах в зоне Черниговского гравитационного максимума (профиль Киев – Гомель и геотрансект II) коро-мантийный слой, как и в пределах всей северо-западной части Днепровского грабена и Брагинско-Лоевской седловины, ***не выделен*** из-за отсутствия соответствующих геофизических показателей. Обособление коро-мантийного слоя в 1987 г. Р. Г. Гарецким и С. В. Клушиным [4] в Припятском прогибе на сейсмической модели был сделан без достаточных оснований, по-видимому, по аналогии с выделением В. Б. Соллогубом этого слоя в юго-восточной части Днепровского прогиба и Донбассе, а нынешние ссылки в этом случае на указанную работу В. Б. Соллогуба некорректны.

Отметим еще раз, что после создания указанной модели Р. Г. Гарецким и С. В. Клушиным в 1987 г. ***другие исследователи не находили обоснования для выделения коро-мантийного слоя в зоне перехода «кора – мантия» Припятского палеорифта.*** В этой связи очень важную роль сыграла модель С. Jhulin, R. A. Stephenson, S. V. Klushin [6], основанная на ***переобработке*** в Университете г. Упсала (Швеция) по новой программе исходных сейсмических данных по профилю ОГТ VIII–VIII с последующей переинтерпретацией. Результаты этой работы были опубликованы в международном журнале «Tectonophysics» в 1996 г. (к сожалению, уже после ухода из жизни в 1995 г. талантливейшего белорусского геофизика С. В. Клушина). Подробное изложение указанных результатов и ***сопоставление*** сейсмических разрезов по единому профилю ГСЗ-ОГТ VIII Р. Г. Гарецкого, С. В. Клушина [4] и С. Jhulin, R. A. Stephenson, S. V. Klushin [6] было представлено в ***специальном разделе*** русскоязычной фундаментальной монографии «Строение и динамика литосферы Восточной Европы» [11].

- На переобработанном сейсмическом разрезе ГСЗ-ОГТ VIII (модель Jhulin et al. [6]) повсеместно обособлена расслоенная нижняя кора (не коро-мантийный слой или подслой!), а все три слоя консолидированной коры выделены на прилегающей территории за пределами краевых разломов Припятского грабена. По результатам ГСЗ «Евробридж-97» [7, 12] и «Георифт-2013» [3] в пределах Припятского прогиба выделены верхняя, средняя и нижняя кора.

- Не обоснованы и принципиальные изменения исходной основной модели рабочей группы проекта «Георифт-2013» по профилю Несвиж – Полтава [3, рис. 6] применительно к общей структуре нижнего и среднего слоев консолидированной коры. Авторы [1, рис. 1] без объяснений поднимают трассируемую на исходной модели границу между нижним и средним слоями до глубины ~25 км, резко (примерно в 2 раза) изменяя соотношения мощности этих слоев. Трудно понять, как могли авторы над своим рис. 1 написать, что на нем «*показан исходный сейсмический разрез литосферы по профилю «Георифт-2013»* при очень существенных различиях исходного профиля и представленного на рис. 1 рассматриваемой статьи.

- Сложно объяснить странное сочетание многих элементов модели, представленной на рис. 2 в качестве сейсмо-плотностного разреза тектоносферы вдоль западной части «Георифт-2013». Одни элементы модели характеризуют различные сейсмические границы и скорости продольных сейсмических волн, расчетные плотности пород и график гравитационных аномалий. Другие элементы модели (определение «***деплетированной***» применительно к верхней мантии под Днепровским грабеном, трассирование кровли нижнего слоя коры) не соответствуют авторской же модели на рис. 1 рассматриваемой статьи. Наконец, на данном сейсмо-плотностном разрезе и в текстовом комментарии к нему отражены гипотетические представления о конкретной зоне выплавления базальтовых расплавов мощностью ~20 км, «*которая, как и вся верхняя мантия Припятского сегмента, отделяется от Днепровского сегмента глубинным разломом юго-восточного падения, возможно достигающим верхов астеносферного слоя и являющегося каналом поступления горячего астеносферного ве-*

щества в нижнюю кору, обеспечивающего формирование в низах коры слоя коро-мантийной смеси, о чем свидетельствуют как сейсмические данные [4, 5], так и материалы интенсивного вулканизма [13]» [1, с. 147].

Гипотетические элементы Припятского сегмента тектоносферы, отраженные на рис. 2, представляются малообоснованными.

– Существование обособляемой авторами мощной зоны проявления базальтовых расплавов в интервале глубин 60–78 км при уровне залегания поверхности Мохо на глубине ~45–48 км отчетливо отразилось бы на структурной форме этой границы и, что не менее важно, на структурном облике нижней коры, как это отчетливо показано в работе [3] применительно к сопредельному Днепровскому прогибу.

– Для поперечных разломов (преимущественно сдвигового или трансформного типов), разделяющих сегменты протяженной рифтовой системы, к которым относятся Припятский и Днепровский сегменты, не доказано проникновение этих разломных структур до астеносферы.

– Глубинные разломы, которые, согласно представлениям авторов, являлись каналом поступления астеносферного вещества в нижнюю кору Припятского прогиба, вряд ли достигали астеносферного уровня, так как по реологическим свойствам нижняя кора и надастеносферная верхняя мантия рассматриваются большинством исследователей как зоны пластических деформаций дислокационного типа. В этих условиях, как показали многие исследователи, отсутствует характерный для зон хрупких и смешанных (хрупких и пластических) деформаций верхнего и среднего слоев земной коры разломы с дискретной амплитудой смещения сопредельных блоков. Ниже поверхности Мохо отсутствует «единичная», вполне определенная зона разлома; последний обладает рассеянной амплитудой, рассредоточенной по этой зоне. При этом подкрепляющие ссылки авторов на работы Р. Г. Гарецкого, С. В. Клушина [4, 5], В. П. Корзуна, А. С. Махнача [13], В. Б. Соллогуба [9] о структурных (глубинные разломы!) и магматических (позднедевонский вулканизм!) условиях формирования слоя коро-мантийной смеси – никак не свидетельствуют об обоснованности авторских генетических конструкций. Это подтверждается тектонической позицией ареала распространения позднедевонского магmatизма: пространственная асимметрия этого ареала, смещенного к северо-восточной периферии Припятского прогиба относительно одноименного синрифтового грабена, является фундаментальной особенностью западного фланга Припятско-Днепровско-Донецкого авлакогена. Еще раз отмечу, что в работе В. Б. Соллогуба [9] подчеркивалось, что в рассматриваемом авлакогене слой коро-мантийной смеси мог образовываться только в юго-восточной части Днепровского грабена и в Донбассе, где поверхность фундамента опускается до 15–18 км и глубже.

– Остается непонятным обоснование на рис. 2 зоны выплавления базальтовых расплавов на глубинах 60–78 км, подошвой которой являются «границы эклогитового перехода». Между тем на рис. 3 эклогитовый слой выделен непосредственно под разделом Мохо на глубинах ~45–60 км. Субгоризонтальные границы обособленной «зоны выплавления базальтовых расплавов» на рис. 2 соответствуют отражающим горизонтам с сейсмоскоростными характеристиками, которые на исходной сейсмоскоростной модели рабочей группы [3] обозначены с вопросительным знаком. Авторы рис. 2 эту неопределенность в исходной модели в процессе собственной интерпретации убрали вместе с вопросительным знаком. Наконец, без комментариев остались расчетные характеристики плотности расплавов в интервале глубин 60–100 км. Другие исследователи литосферы Припятского прогиба, например [12, 14], на плотностной и тектонической моделях не находили возможным обоснованно прогнозировать разрез верхней мантии этого сегмента на глубинах более 60 км из-за отсутствия надежных геофизических данных.

• Представленная в статье физико-геологическая модель тектоносферы Припятского прогиба (рис. 3) отражает, по существу, обобщенный вертикальный ряд слоев тектоносферы с различной классификационной основой применительно к земной коре и надастеносферной верхней мантии. Консолидированная кора расчленена на основе известных представлений о ее трехслойной структуре с условным наименованием «гранитный», «диоритовый» и «базальтовый» слои. Нижний («базальтовый») слой в соответствии с использованными Е. В. Артюшковым в работе [8] для Припятского прогиба классическими результатами исследований отечественных и зарубежных петрологов, определяется как слой гранатовых гранулитов. Подслой «коро-мантийной смеси», отраженный на рис. 1 [1] и которому удалено много внимания в теоретических рассуждениях авторов, вообще отсутствует на этой модели (впрочем, как и на авторском рис. 2 рассматриваемой статьи). Непонятна физико-геологическая основа, в соответствии с которой на рис. 3 в интервале 80–100 км выделен мощный слой, названный «реликтом астеносферы». Обоснование значительных по мощности «реликтов» конкретных слоев верхней мантии, по-видимому, следует сопровождать соответствующими комментариями.

• Важнейшее значение для познания глубинной структуры и синрифтовой геодинамики Припятского прогиба имел первый поперечный сейсмический разрез земной коры и верхней мантии по профилю ГСЗ ОГТ VIII, построенный в результате первичной обработки и интерпретации сейсмических данных Р. Г. Гарецким и С. В. Клушиным [4]. На этом разрезе **впервые** была показана листрическая тектоника земной коры Припятского палеорифта и криволинейные листрические разломы как важнейшие элементы этой тектоники. Интерпретация данного сейсмического разреза явилась основанием для создания авторами геодинамической модели Припятского палеорифта [5], которая позже неоднократно публиковалась и представлена на рис. 4. Нельзя не отметить, что при обработке и интерпретации исходных сейсмических данных по профилям ГСЗ ОГТ (III–III) в 1987 г. авторы были вынуждены использовать устаревшее программное обеспечение, которое привело к некоторым необоснованным тектоническим характеристикам глубинной структуры земной коры и верхней мантии. Это было установлено, как уже отмечено выше, по результатам переобработки исходных сейсмических данных по новым программам и создания **обновленного** сейсмического разреза Припятского палеорифта по материалам ГСЗ ОГТ [6]. Именно указанный разрез использовался как наиболее представительный при обработке и интерпретации материалов международных проектов ГСЗ «Евробридж-96» и «Евробридж-97», «Георифт-2013» по территории Припятского палеорифта [3, 11].

• Вследствие этих исследований тектоносферы Припятского прогиба было установлено, что на переобработанном разрезе ГСЗ ОГТ **ни один** глубинный листрический разлом не достигает раздела Мохо. Они выпадают по поверхности нижнекорового слоя, т. е. по этим данным в Припятском прогибе вообще отсутствуют продольные субширотные разломы мантийного уровня и все они являются внутрекоровыми. Вероятно, это утверждение соответствует реальности, за исключением Южно-Припятского краевого разлома. На том же переобработанном профиле повсеместно обособлена нижняя кора, а слой/подслой коро-мантийной смеси, как показано на рис. 1 рассматриваемой статьи, **не выделен**.

• Представленные на рис. 4 и на исходных сейсмической и геодинамической моделях 1980-х годов [4, 5] мощные линзы трещинного разуплотнения в Северной зоне Припятского прогиба в интервалах литосферной верхней мантии (60–78 км) и верхнекоровом слое (~18–27 км) не были подтверждены на переобработанном профиле ГСЗ-ОГТ в 1996 г. [6]. А ведь обособление этих мощных линз на основе публикаций 1987 и 1989 г. [4, 5] наряду с моделированием плотностного разреза (см. рис. 2 рассматриваемой статьи) послужили как бы основой для выделения на рис. 3 (физико-геологическая модель тектоносферы) слоев «базальтового расплава» (интервал 60–80 км) и «крепката астеносферы» (80–100 км). При этом нельзя не отметить, что в интервале глубин 80–100 км тектоносферы Припятского палеорифта сейсмический облик по всем профилям весьма не представителен и любые структурно-геодинамические и петрологические модели этого слоя являются ма-лообоснованными.

• На рис. 4 – обобщенной по профилям ГСЗ-ОГТ (III, VIII, XII) сейсмологической и геодинамической модели, показан субширотный приосевой выступ поверхности Мохо, обособленный еще в 1987 г. в работе [4] и являющийся очень важным показателем при интерпретации особенностей синрифтового развития палеорифтов. Неожиданным результатом исследований по проекту «Евробридж-97» явились то, что по словам датского геофизика, руководителя рабочей группы коллектива исследователей по данному проекту Н. Thybo «Припятский прогиб слабо выражен в скоростной модели коры, **не наблюдается даже подъема границы Мохо, типичного для большинства (рифтовых) впадин** [7]. Такое же мнение высказала и С. В. Богданова [12].

• Сравнение сейсмологических моделей ГСЗ-ОГТ ([5] и рис. 4 рассматриваемой статьи) с сейсмической моделью «Евробридж-97», при создании которой использовались преломленные и отраженные волны, показывает их существенные различия:

– по структуре поверхности Мохо: на модели «Евробридж-97» она залегает субгоризонтально (без приосевого выступа) на глубинах около 46 км, т. е. ниже, чем на модели ОГТ 1989–2019 гг.

– на сейсмическом облике верхней мантии до глубины 80 км на моделях «Евробридж-97» и «Георифт-2013» **не установлены аномалии верхнемантийных образований**, которые сопоставлялись бы с поверхностью астеносферного диапира (на глубине ниже 75 км) и мощной астеносферной линзой (интервал 60–78 км), показанные на рис. 4.

• Геодинамическая составляющая модели, представленной на рис. 4, была критически рассмотрена еще в 1991 г. [15], и эта критика была поддержана украинским геофизиком академиком А. В. Чекуновым [16].

• Завершая характеристику представленной на рис. 4 первозданной модели поперечного сечения Припятского прогиба [4, 5], которая, как отмечено выше, имела основополагающее значение для изучения литосферы региона, нельзя не отметить, что авторы рассматриваемой статьи на протяжении долгих лет не обращают внимания на многие принципиально важные новые данные по сейсмиче-

скому и плотностному облику Припятского сегмента литосферы, установленные по результатам последующих переобработки материалов ГСЗ-ОГТ по профилю VIII–VIII и исследований по проектам «ЕвроБридж-96», «ЕвроБридж-97», «Георифт-2013» [6, 7, 11, 12]. Непонятно, почему в рассматриваемой статье представлены **без соответствующих пояснений** измененные авторами исходные модели строения тектоносферы вдоль Припятского и Днепровского прогибов, созданные рабочей группой проекта «Георифт-2013» [3] при официальном участии этих же авторов.

- Заключительный рис. 5 представляет собой «тектонофизическую конвективную модель формирования Припятского и Днепровского грабенов». При ее создании в качестве теоретической и методической основы использована физическая модель Д. Тёркотта и Оксбурга (D. Turcotte, Oxburg), изложенная в монографии В. Н. Жаркова и В. П. Трубицына «Физика планетарных недр» [17] и на которую ссылаются Р. Г. Гарецкий и Г. И. Карапаев. Эта модель, детально показанная в более поздней фундаментальной монографии Д. Тёркотта с другим соавтором – Дж. Шубертом, характеризует структуру ячеек двумерной тепловой конвекции в нагреваемом снизу слое жидкости; структура рассчитана в приближении сверху холода пограничного слоя ([18, ч. 2, с. 465] – см. рисунок в настоящей статье).

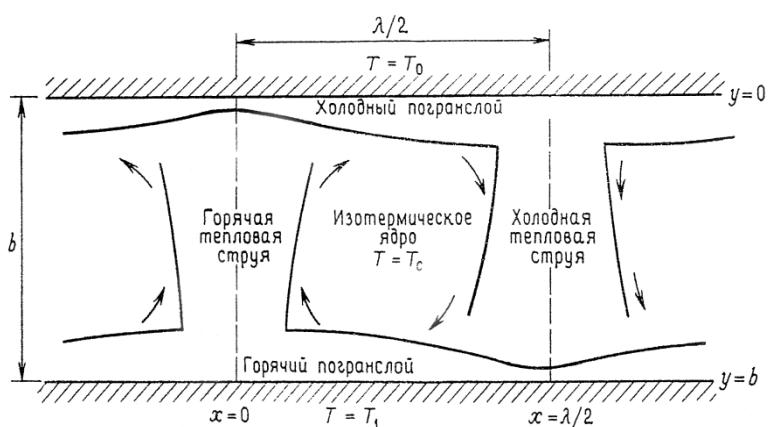


Схема физической модели по Д. Тёркотту, Дж. Шуберту [18, ч. 2].

Структура ячеек двумерной тепловой конвекции в слое жидкости, нагреваемой снизу; рассчитана в приближении погранслоя. Смежные изотермические ядра вращаются в противоположных направлениях

The scheme of physical model by D. Tyorkott, Dj. Shubert [18, part 2].

The structure of cells of two-dimensional thermal convection in a layer of liquid heated from below; calculated in boundary layer approximation. Adjacent isothermal cores rotate in opposite directions

Представленная в работе [18] физическая модель рассматривается Д. Тёркоттом и Дж. Шубертом в геологическом приложении как аналог поперечного сечения от «горячей тепловой струи» (т. е. зоны спрединга) в направлении зоны субдукции, холодной тепловой струи вблизи океанического жебла и утолщающейся океанической литосфере [18]. Зоны спрединга, как известно, контролируются срединно-оceanическими рифтовыми системами. Таким образом симметрия сопредельных с «горячей тепловой струей» изотермических ядер конвективных структурных ячеек **устанавливается относительно продольной оси рифтовой системы**.

Авторы рассматриваемой статьи [1] при разработке обобщающей «тектонофизической конвективной модели формирования Припятского и Днепровского грабенов» некорректно использовали концепцию Д. Тёркотта с соавторами [18].

- На рис. 5 [1] ось симметрии конвективных структур ориентирована не вдоль рифтовой системы, как в [18], а поперек – она совпадает с Брагинско-Лоевской седловиной. Показанные на рис. 5 абсолютно одинаковые, зеркально симметричные синрифтовые изотермические ядра и зоны базальтового расплава в Припятском и Днепровском сегментах литосферы не могут быть приняты даже в качестве смелой гипотезы, т. к. указанные сегменты принципиально отличаются друг от друга строением земной коры и надастеносферной верхней мантии. Установленные существенные различия в строении литосферы всех сегментов Припятско-Днепровско-Донецкого авлакогена большинство исследователей связывают с разными условиями их формирования на герцинской синрифтовой стадии и поэтому они не могут быть отражены **симметричными** изотермическими ядрами структурных ячеек тепловой конвекции.

– «Тектонофизическая модель» на рис. 5 принципиально отличается от физической модели Д. Тёркота с соавторами [18] тем, что на последней структура ячеек двумерной тепловой конвекции связана прежде всего с **«горячей тепловой струей» приосевой зоны рифтовой системы**. Авторы же рассматриваемой статьи определили положение «горячей тепловой струи» непосредственно на субмеридиональной Брагинско-Лоевской поперечной седловине, разграничающей Припятский и Днепровский сегменты литосферы. Таким образом, «горячая тепловая струя», с которой связывается процесс рифтогенеза и растяжения литосферы вследствие вращения изометрических ядер в противоположные стороны относительно продольной оси рифтовой системы, на рис. 5 **ориентирована перпендикулярно** к Припятскому и Днепровскому палеорифтам. Это положение некорректно по отношению и к концепции Д. Тёркота и его соавторов, и к общим моделям рифтогенеза. Наконец, гипотеза об образовании поперечной Брагинско-Лоевской седловины выступает вследствие «тектонофизического процесса “вырезания” в низах литосферы и подъема (выталкивания вверх) гранулитового массива в процессе встречных, нисходящих потоков астеносферного вещества того и другого прогибов» [1, с. 151] вызывает ряд принципиальных замечаний, в том числе системного характера. Зеркально-симметричный характер тектонофизической модели формирования Припятского и Днепровского прогибов (рис. 5) на концептуальном уровне не соответствует, как уже показано, принципиальным различиям в структуре и сейсмическом облике обоих указанных сегментов литосферы. Именно установление этих различий являлось главным результатом исследований по проекту «Георифт-2013» [3]. В заключение считал бы необходимым отметить, что в рассматриваемой статье геофизическая основа измененных (рис. 1, 2) и новых (рис. 3, 5) моделей, их интерпретация представляются малообоснованными.

Список использованных источников

- Гарецкий, Р. Г. Астеносфера – ведущий фактор формирования тектоносферы Припятского и Днепровского грабенов / Р. Г. Гарецкий, Г. И. Карапаев // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 146–153.
- The GEORIFT 2013 wide-angle seismic profile, along Pripyat-Dnieper-Donetsk Basin / V. Starostenko [et al.] // Geophysical Research Abstracts, April, 27–29, 2017, Austria, Vienna ; EGU, General Assembly. – Vienna, 2017. – Vol. 19. – P. 17939.
- Lithospheric structure along wide-angle seismic profile GEORIFT 2013 in Pripyat-Dnieper-Donets Basin (Belarus and Ukraine) / V. Starostenko, T. Janik, T. Yegorova, ..., R. Aizberg, R. Garetsky, G. Karataev, Y. Gribik [et al.] // Geophysical Journal International. – 2018. – Vol. 212, № 3. – P. 1932–1982.
- Гарецкий, Р. Г. Глубинное строение Припятского палеорифта / Р. Г. Гарецкий, С. В. Клушин // Докл. Акад. наук СССР. – 1987. – Т. 297, № 6. – С. 1438–1442.
- Гарецкий, Р. Г. Листрические разломы в Припятском палеорифте / Р. Г. Гарецкий, С. В. Клушин // Геотектоника. – 1989. – № 1. – С. 49–60.
- Reappraisal of the deep seismic reflexion profile VII across the Pripyat Trough / C. Juhlin [et al.] // Tectonophysics. – 1996. – Vol. 268. – P. 99–108.
- Upper lithospheric seismic velocity structure across the Pripyat Trough and the Ukrainian Shield along the EUROBRIDGE-97 profile / H. Thybo [et al.] // Tectonophysics. – 2003. – Vol. 371. – P. 41–79.
- Артюшков, Е. В. Физическая тектоника / Е. В. Артюшков. – М. : Наука, 1993. – 455 с.
- Соллогуб, В. Б. Литосфера Украины / В. Б. Соллогуб. – Киев : Наукова думка, 1986. – 184 с.
- Кук, К. Л. Рифтовая система провинций бассейнов и хребтов / К. Л. Кук // Система рифтов. – М. : Мир, 1970. – С. 150–173.
- Егорова, Т. П. Результаты переинтерпретации и обобщения сейсмических материалов / Т. П. Егорова, Е. П. Баранова // Строение и динамика литосферы Восточной Европы. – М. : Геокарт. Геос, 2006. – Вып. 2. – С. 315–321.
- Богданова, С. В. Тектоническая интерпретация строения коры по геолого-геофизическим данным / С. В. Богданова // Строение и динамика литосферы Восточной Европы. – М. : Геокарт. Геос, 2006. – Вып. 2. – С. 279–288.
- Корзун, В. П. Верхнедевонские щелочные вулканогенные формации Припятского бассейна / В. П. Корзун, А. С. Махнач. – Минск : Наука и техника, 1977. – 163 с.
- Литосфера Украинского щита и Припятской впадины региона Eurobridge'97 по данным гравитационного моделирования / Т. П. Егорова [и др.] // Геофизический журнал. – 2003. – № 4. – С. 26–38.
- Геодинамическая модель Припятского палеорифтового бассейна / Р. Е. Айзберг [и др.] // Геофизический журнал. – 1991. – № 3. – С. 17–29.
- Чекунов, А. В. К геодинамике Днепровско-Донецкой рифт-синеклизы / А. В. Чекунов // Геофизический журнал. – 1994. – Т. 16, № 3. – С. 3–13.
- Жарков, В. Н. Физика планетарных недр / В. Н. Жарков, В. П. Трубицин. – М. : Наука, 1980. – 448 с.
- Тёркот, Д. Геодинамика: геологическое приложение физики сплошных сред / Д. Тёркот, Дж. Шуберт. – М. : Мир, 1985. – Ч. 1–2. – 736 с.

References

1. Gareckij R. G., Karataev G. I. *Astenosfera – vedushchij faktor formirovaniya tektonosfery Pripyatskogo i Dnepranskogo grabenov* [Asthenosphere is the leading factor of the formation of the tectonosphere of Pripyat and Dnieper grabens]. *Nature Management*, 2019, no. 1, pp. 146–153. (in Russian)
2. Starostenko V. [et al.] The GEORIFT 2013 wide-angle seismic profile, along Pripyat-Dnieper-Donets Basin. *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 19. EGU, General Assembly. Austria, Vienna, 27–29 April 2017, pp. 17939.
3. Starostenko V., Janik T., Yegorova T., ..., Aizberg R., Garetsky R., Karataev G., Gribik Y. [et al.]. Lithospheric structure along wide-angle seismic profile GEORIFT 2013 in Pripyat-Dnieper-Donets Basin (Belarus and Ukraine). *Geophysical Journal International*, 2018, vol. 212, no. 3, pp. 1932–1982.
4. Gareckij R. G., Klushin S. V. *Glubinnoe stroenie Pripyatskogo paleorifta* [The deep structure of Pripyat paleorift]. *Rep. of the Ac. of Scienc. of USSR*, 1987, vol. 297, no. 6, pp. 1438–1442. (in Russian)
5. Gareckij R. G., Klushin S. V. *Listricheskie razlomy v Pripyatskom paleorifte* [Listeric faults in Pripyat paleorift]. *Geotectonic*, 1989, no. 1, pp. 49–60. (in Russian)
6. Juhlin C. [et al.]. Reappraisal of the deep seismic reflexion profile VIII across the Pripyat Trough. *Tectonophysics*, 1996, vol. 268, pp. 99–108.
7. Thybo H. [et al.]. Upper lithospheric seismic velocity structure across the Pripyat Trough and the Ukrainian Shield along the EUROBRIDGE-97 profile. *Tectonophysics*, 2003, vol. 371, pp. 41–79.
8. Artyushkov E. V. *Fizicheskaya tektonika* [Physical tectonics]. Moscow, Science, 1993, 455 p. (in Russian)
9. Sollogub V. B. *Litosfera Ukrayny* [Lithosphere of Ukraine]. Kiev, 1986, 184 p. (in Russian)
10. Kuk K. L. *Riftovaya sistema provincij bassejnov i hrebtov* [The rift system of the provinces of basins and ridges]. Riffs system. Moscow, 1970, pp. 150–173. (in Russian)
11. Egorova T. P., Baranova E. P. *Rezul'taty pereinterpretacii i obobshcheniya sejsmicheskikh materialov* [The results of the reinterpretation and generalization of seismic materials]. *The structure and dynamics of the lithosphere of Eastern Europe*. Moscow, Geomap. Geos, 2006, vol. 2, pp. 315–321. (in Russian)
12. Bogdanova S. V. *Tektonicheskaya interpretaciya stroeniya kory po geologo-geofizicheskim dannym* [The tectonic interpretation]. *Stroenie i dinamika litosfery Vostochnoj Evropy=The structure and dynamics of the lithosphere of Eastern Europe*. Moscow, Geomap. Geos, 2006, issue 2, pp. 279–288. (in Russian)
13. Korzun V. P., Mahnach A. S. *Verhnedenovskie shchelochnye vulkanogennye formacii Pripyatskogo bassejna* [Verkhnedvinsk alkaline volcanic formations of Pripyat basin]. Minsk, Science and Technic, 1977, 163 p. (in Russian)
14. Egorova T. P. [et al.]. *Litosfera Ukrainskogo shchita i Pripyatskoye vpadiny regiona Eurobridge'97 po dannym gravitacionnogo modelirovaniya* [The lithosphere of Ukrainian shield and Pripyat basin of Eurobridge'97 region according to gravity modeling]. *Geophysical magazine*, 2003, no. 4, pp. 26–38. (in Russian)
15. Ajzberg R. E., Shishkin E. I., Shishkina T. Yu., Starchik T. A. *Geodinamicheskaya model' Pripyatskogo paleoriftovo bassejna* [Geophysical model of Pripyat paleorift basin]. *Geophysical magazine*, 1991, no. 3, pp. 17–29. (in Russian)
16. Chekunov A. V. *K geodinamike Dneprovsko-Doneckoj rift-sineklizy* [To geodynamics of Dnepr-Doneck rift synecleise]. *Geophysical magazine*, 1994, vol. 16, no. 3, pp. 3–13. (in Russian)
17. Zharkov V. N., Trubicin V. P. *Fizika planetarnyh nedr* [Physics of the subsoils planet]. Moscow, Science, 1980, 448 p. (in Russian)
18. Tyorkott D., Shubert Dj. *Geodinamika: geologicheskoe prilozhenie fiziki sploshnyh sred* [Geodynamics: the geological addition of the physics of solid mediums]. Moscow, 1985, part 1–2, 736 p. (in Russian)

Информация об авторе

Айзберг Ромма Ефимович – член-корреспондент, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

Information about the author

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

ЮБИЛЕИ JUBILEE

К 80-ЛЕТИЮ АКАДЕМИКА ВЛАДИМИРА ФЕДОРОВИЧА ЛОГИНОВА TO THE 80th ANNIVERSARY OF ACADEMICIAN VLADIMIR FEDOROVICH. LOGINOV

8 марта 2020 г. исполнилось 80 лет Владимиру Федоровичу Логинову, академику Национальной академии наук Беларусь, доктору географических наук, профессору, лауреату Государственной премии Республики Беларусь. В этом же году отмечается и другая знаменательная дата – 55-летие научной деятельности Владимира Федоровича. Именно вторая дата очень важна в цикле жизнеописания академика В. Ф. Логинова.

Высокий профессионализм, широкая география интересов и опыта работы, неиссякаемый интерес к исследованиям, активная жизненная позиция – далеко не полный перечень отличительных качеств Владимира Федоровича, которые ставят его в ряд выдающихся ученых. Способный квалифицированно и доступно ответить на самые разные вопросы о причинах и последствиях изменения климата, известный климатолог, академик В. Ф. Логинов – один из самых популярных гостей на телевидении и в других средствах массовой информации. Однако богатый опыт и огромный багаж знаний Владимира Федоровича не останавливает его в поиске новых ответов на насущные вопросы причинно-следственных связей, факторов изменений климата и их характера, обусловленности трендов и цикличности сложных климатических процессов Земли. Подтверждение тому – цикл из 16 монографий, посвященных региональным и глобальным аспектам изменения климата, подготовленных в период с 1984 по 2020 г. (справочно: общее количество книжных изданий – около 40). Пять монографий за последние 4 года – прекрасная иллюстрация глубокой привязанности и увлеченности Владимира Федоровича, устойчивых многолетних и плодотворных отношений между ученым и областью исследований, а также продуктивности его научных исследований. О широте мышления В. Ф. Логинова свидетельствуют названия монографий, в которых ключевыми словами помимо «изменения климата и их последствия» являются следующие: вулканические извержения, гелиогеофизические процессы, радиационные факторы, космические факторы, экстремальные явления и др. Солнечная активность, общая циркуляция атмосферы, Мировой океан и морские течения, аэрозоли вулканического и антропогенного происхождения, планеты Солнечной системы, урбанизация и мелиорация – далеко не полный перечень факторов, которым уделяет внимание Владимир Федорович при интерпретации особенностей изменения климатических параметров на региональном и глобальном уровнях и их роли в формировании климатической системы Земли.

Следует отметить, что в ряде работ В. Ф. Логинова поднимаются проблемные вопросы, дискуссии по которым были бы весьма полезны, как, например, о причинах потепления климата, цикличности изменений и величине трендов. Не отвергая теорию парникового потепления климата, академик считает крайне важным рассматривать и учитывать другие факторы, имеющие иные энергетические возможности и периодичность изменения. Углубленный и всесторонний их анализ, открытое обсуждение различных мнений, как считает Владимир Федорович, позволили бы расширить горизонты исследований на международном уровне для выработки реалистичных мер по снижению выбросов парниковых газов.

Впечатляет перечень журналов, в которых опубликованы основные результаты исследований В. Ф. Логинова: «Вестник ЛГУ», «Вестник Иркутского университета», «Известия ВГО/РГО», «Известия АН СССР/РАН», «Доклады АН СССР», «Доклады Института географии Сибири и Дальнего Востока», «Доклады НАН Беларусь», «Солнечные данные», «Геомагнетизм и аэрономия», «Метеорология и гидрология», «Астрономический журнал», «География и природные ресурсы», «Украинский географический журнал», «Земля и Вселенная», «Водные ресурсы», «Фундаментальная и прикладная климатология», «Наука и инновации», «Природопользование», «Природные ресурсы», «Экологический вестник» и др.



В целом же, направления научной деятельности Владимира Федоровича значительно шире фундаментальных исследований по климатической тематике. К важнейшим относятся также оценка состояния, причины и прогноз изменений природной среды Беларуси. По инициативе В. Ф. Логинова и под его редакцией были подготовлены и изданы такие монографии, как «Природная среда Беларусь» (2002) и «Прогноз изменения окружающей природной среды Беларусь на 2010–2020 гг.» (2004).

Неоценимое значение для практики природопользования имеют оценки воздействия климата на различные отрасли хозяйства и социальную сферу, разработанные сценарии изменений климата, гидрологических и агроклиматических показателей и их последствий, предложения по адаптации наиболее уязвимых отраслей экономики к изменяющемуся климату. Под руководством Владимира Федоровича создана Национальная климатическая программа; в 2010 г. им разработана Концепция экологической безопасности в составе Концепции национальной безопасности Республики Беларусь. Важное практическое значение имеют работы В. Ф. Логинова, касающиеся оценки агроклиматических ресурсов на территории Беларусь.

Кругозор и широта мышления Владимира Федоровича во многом обусловлены его образованием и полученными дипломами: инженер-геолог (Старооскольский геологоразведочный техникум), океанолог (арктический факультет Ленинградского высшего инженерного морского училища имени адмирала С. О. Макарова), геофизик (ученое звание старшего научного сотрудника), метеоролог, климатолог (ученое звание кандидата и доктора наук), географ (член-корреспондент, академик).

В. Ф. Логинов работал в крупнейших научных центрах бывшего СССР (Сибирском институте земного магнетизма, ионосфера и распространения радиоволн СО АН СССР, Всесоюзном институте гидрометеорологической информации, Главной геофизической обсерватории имени А. И. Войкова), а также в Стенфордском университете США, Всемирной метеорологической организации ООН. С 1990 г. деятельность В. Ф. Логинова протекает в Институте природопользования НАН Беларусь (до 2008 г. Институт проблем использования природных ресурсов и экологии). На протяжении почти двух десятилетий он занимал руководящие должности: сначала заместителя директора по научной работе, а затем – директора.

По признанию Владимира Федоровича, огромное влияние на его формирование и становление как человека и ученого оказали его коллеги и учителя, в числе которых академики К. Я. Кондратьев, И. П. Дружинин, доктора и кандидаты наук Б. И. Сazonov, В. Н. Адаменко, И. В. Максимов, А. А. Борисов, О. А. Дроздов, Л. А. Вительс, А. И. Оль, А. Н. Исаев. Жизнь сталкивала его с такими неординарными личностями и крупными учеными, как академики Г. И. Марчук, М. И. Будыко, В. В. Шулейкин.

Неотъемлемое качество Владимира Федоровича – умение сочетать научную, научно-педагогическую и организационную работу, несмотря на огромную ответственность и занятость административной работой, ученый не снижал интенсивность научной деятельности.

Авторитетные коллеги и учителя, высокий научный и интеллектуальный потенциал учреждений, в которых он работал в разных городах и странах, творческая атмосфера, энтузиазм и увлеченность самого исследователя – все это способствовало профессиональному росту В. Ф. Логинова.

Несколько фактов из биографии академика:

- автор более 550 научных публикаций, в том числе 40 монографий, брошюр, справочников и учебных пособий;
- под его редакцией издано более 50 монографий, книг, бюллетеней и сборников научных трудов;
- руководитель 14 кандидатов наук и консультант 3 докторов наук;
- преподаватель со стажем более 20 лет в учреждениях высшего образования;
- инициатор создания и руководитель ряда государственных программ научных исследований – «Природные ресурсы и ландшафты» (2001–2002 гг.), «Природные комплексы» (2003–2005 гг.), «Природопользование» (2006–2010 гг.);
- инициатор создания системы информирования государственных органов и населения о состоянии природной среды в Республике Беларусь и ее изменениях; научный редактор 24 выпусков экологического бюллетеня «Состояние природной среды Беларусь».

В 2005 г. совместно с М. Е. Никифоровым (Беларусь) и В. С. Кошелевым (Россия) В. Ф. Логинов выступил инициатором присоединения Республики Беларусь к Договору об Антарктике и развития антарктических исследований. За прошедшее время им проведены многочисленные переговоры, в том числе на Консультативных совещаниях Договора об Антарктике, по вопросам строительства Белорусской антарктической станции, укрепления правовой базы деятельности в Антарктике и получения статуса консультативной Стороны. При непосредственном участии и руководстве Владимира Федоровича с 2007 г. созданы и выполняются Государственные целевые программы «Мониторинг полярных районов Земли».

В. Ф. Логинов внес существенный вклад в становление и развитие международного научно-технического сотрудничества в области охраны окружающей среды. Работая во Всемирной Метеорологической организации ООН, он принимал участие в разработке и реализации ряда проектов Всемирной климатической программы, был заместителем председателя международного организационного комитета и руководящей группы Совета Европы по проведению Европейского года охраны природы. Владимир Федорович – один из организаторов и неизменный член бюро Объединенного Научного совета по фундаментальным географическим проблемам при Международной ассоциации Академий наук.

За вклад в развитие научных исследований В. Ф. Логинов избран академиком Петровской академии наук и искусств, Международной академии наук Евразии, Международной академии организационных и управленческих наук, Международной славянской академии наук, образования, искусств и культуры (белорусского отделения).

Отличник Госкомгидромета (1990), Лауреат Государственной премии Республики Беларусь (2002), дважды лауреат премии НАН Беларуси (1997 и 2007), почетный эколог Республики Беларусь (2010). В 2009 г. Владимир Федорович награжден медалью Франциска Скорины. В 2020 г. в день юбилея академику В. Ф. Логинову присвоено звание Почетный доктор Национальной академии наук Украины и вручена высшая награда НАН Беларуси – «Залаты медаль Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі «За дасягненні ў науцы».

Человек энциклопедических знаний и эрудит, Владимир Федорович, продолжает неустанно трудиться, передавая свои знания молодому поколению, которое он хотел бы видеть более целеустремленным, трудолюбивым и настойчивым в достижении целей.

Искренне поздравляем Владимира Федоровича с юбилеем и желаем ему сохранить энтузиазм и творческую энергию для новых научных поисков и свершений.

**Лысенко С. А., Хомич В. С., Какарека С. В.,
Кухарчик Т. И., Камышенко Г. А.**

ПАМЯТИ УЧЕНОГО
IN THE MEMORY OF A SCIENTIST

ПАМЯТИ АКАДЕМИКА
НИКОЛАЯ НИКОЛАЕВИЧА БАМБАЛОВА
IN THE MEMORY OF ACADEMICIAN
NIKOLAI NIKOLAYEVICH BAMBALOV



2 июня 2020 г. за день до своего 82-летия скоропостижно ушел из жизни академик НАН Беларуси, известный ученый в области геохимии и экологии почв и болот, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник Института природопользования НАН Беларуси Бамбалов Николай Николаевич.

Николай Николаевич родился 3 июня 1938 г. в г. Шаталово Смоленской области. В 1961 г. окончил Белорусскую сельскохозяйственную академию. В 1962 г. был принят на работу в Институт торфа, который впоследствии был преобразован в Институт проблем использования природных ресурсов и экологии, а позже – в Институт природопользования НАН Беларуси. Здесь он закончил аспирантуру, работал в должностях инженера, младшего и старшего научного сотрудника. В 1968 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата химических наук на тему «Изменения физико-химических свойств гуминовых кислот в процессе гумификации торфов». В 1976 г. был избран заведующим лабораторией торфяных и сапропелевых месторождений, генезиса торфа и сапропелей. В 1985 г. ему была присуждена ученая степень доктора сельскохозяйственных наук по результатам защиты диссертации на тему «Минерализация и трансформация органического вещества мелиорированных торфяных почв при их сельскохозяйственном использовании».

В 1989 г. Н. Н. Бамбалов был избран членом-корреспондентом, в 1994 г. – академиком НАН Беларуси. В 2013 г. ему было присвоено звание профессора.

В сферу научных интересов академика Николая Николаевича Бамбалова входили: разработка теории минерализации и гумификации органических соединений в почвах разного генезиса и практических мероприятий по регулированию баланса органического вещества в них; исследование металлгумусовых взаимодействий и создание технологий производства новых видов биологически активных микроэлементных удобрений; разработка научно обоснованных методов биосферно-совместимого использования природных ресурсов болот, торфяных почв и торфяных месторождений. Им выявлены общие закономерности минерализации и трансформации органического вещества почв, взаимосвязь между экологическими условиями почвообразования, химическим составом, молекуллярной структурой органических соединений и темпами их минерализации.

На основе теоретических исследований взаимодействия солей металлов с гуминовыми веществами торфа по заданию Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь ученым разработана и внедрена технология получения отечественных микроэлементных удобрений для некорневой подкормки сельскохозяйственных культур, в результате чего три марки новых удобрений «Элегум» внесены в Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь для их последующего использования в агропромышленном комплексе и личных подсобных хозяйствах. По инициативе и авторском сопровождении Н. Н. Бамбалова на ОАО «Зеленоборское» Смолевичского района был создан цех и организован промышленный выпуск разработанных удобрений.

По разработкам, выполненным под руководством Николая Николаевича, на экспериментальной базе «Свислочь» (Пуховичский район) создана pilotная установка по производству комплексных гранулированных удобрений пролонгированного действия на основе торфа и сбалансированных органоминеральных удобрений.

Многолетними балансовыми опытами, выполненными Н. Н. Бамбаловым совместно со специалистами институтов мелиорации, микробиологии и другими на Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства, научно обоснована целесообразность создания песчано-смешанной культуры для консервации органогенного слоя торфяных почв. Будучи разовым мероприятием,

глубокая вспашка позволяет сократить потери органического вещества в пахотном слое до 20 раз, по сравнению с черной культурой, и законсервировать органическое вещество в подпахотном слое, а также существенно улучшить агрофизические свойства почв, повысить агрономическую, экономическую и экологическую эффективность их сельскохозяйственного использования.

На основе анализа генезиса торфяных почв и биосферных функций болот Николай Николаевич выделил эколого-генетические группы торфяных почв и разработал дифференцированные методы их использования и охраны, что позволяет обеспечивать сохранение органического вещества в почвах и предотвращать загрязнения воздушного бассейна, поверхностных и подземных вод продуктами разрушения почв.

Н. Н. Бамбаловым установлены особенности биогеохимических циклов углерода и азота в почвах и болотах. Им доказано, что болота выполняют функцию переходного звена между биогенным и геологическим круговоротами этих элементов.

Николаем Николаевичем разработаны научные основы новой отрасли науки и хозяйства – болотоводства. Ученый обосновал идею и методы восстановления болот на выработанных торфяных месторождениях. К настоящему времени в Беларуси восстановлено более 70 тыс. га болот. Международное сообщество признало целесообразным распространить положительный опыт Беларуси по восстановлению нарушенных болот на Россию, Украину, Польшу и Прибалтику.

Н. Н. Бамбалов являлся основателем и лидером научной школы «Биогеохимия болот и торфяных месторождений», занимающей лидирующие позиции в изучении болотных экосистем.

В течение двух сроков подряд – с 2000 по 2008 г. – Николая Николаевича Бамбала избрали Председателем IV Комиссии Международного Торфяного Общества «Физические, химические и биологические свойства торфа». Международный биографический центр в Кембридже удостоил Н. Н. Бамбала диплома и медали «2000 выдающихся ученых XX века» ('2000 Outstanding Scientists of the 20th Century'), а Американский биографический центр – «Международной медали за научное отличие» ('International Medal for Scientific Excellence').

Николай Николаевич активно занимался патентно-изобретательской деятельностью. Им получено 25 авторских свидетельств и патентов на изобретения. Значительная часть его разработок внедрена и используется на практике.

Академиком Н. Н. Бамбаловым опубликовано более 550 научных работ, в том числе 5 монографий, 9 брошюр. Им подготовлены 12 кандидатов наук.

Николай Николаевич обладал высокими личностными качествами. Его ответственность, искренность, скромность, доброжелательность и широкая эрудиция всегда привлекали к нему коллег, учеников и друзей. Светлая память о выдающемся белорусском ученом и замечательном человеке Николае Николаевиче Бамбалове навсегда останется в сердцах у всех, кому довелось с ним общаться и работать.

Редакция журнала «Природопользования», коллеги

Научное издание
Scientific publication

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ
NATURE MANAGEMENT

№ 1, 2020

Редактор Н. Т. Гавриленко
Editor N. T. Gavrilenko

Компьютерная верстка Т. Н. Козловская
Computer page making T. N. Kozlovskaya

Переводчик М. Ю. Кравченко
Translator M. U. Kravchenko

Подписано в печать 04.08.20. *Signed into print 04.08.2020.*
Формат 60×90/8. Бумага офсетная. *60×90/8 format. Office paper.*
Гарнитура Ариал. Печать цифровая. *Arial garniture. Digital print.*
Усл. печ. л. 27,76. *Conditional printed sheets 27.76.*
Уч.-изд. л. 26,0. *Conditional edited sheets 26.0.*
Тираж 120 экз. *Circulation 120 copies.*
Заказ № 813. *Order No. 813.*

Полиграфическое исполнение
Государственное предприятие
«СтройМедиаПроект».
Свидетельство о государственной
регистрации издателя,
изготовителя, распространителя
печатных изданий
№ 2/42 от 13.02.2014.
Ул. В. Хоружей, 13/61, 220123, г. Минск

*Polygraph execution
State Enterprise
'StroiMediaProject'.
The Certificate of state registration
of the publisher, manufacturer,
distributor of
printed publications.
No. 2/42 from 13.02.2014.
13/61, V. Choruzhey Str., 220123, Minsk*

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Редакция журнала «Природопользование» просит авторов руководствоваться приведенными ниже правилами.

I. Статьи о результатах работ, проведенных в научных учреждениях, должны иметь разрешение на опубликование (сопроводительное письмо ректората или дирекции соответствующего института либо выписку из протокола заседания ученого совета, отдела или кафедры, а также акт экспертизы).

II. Статья предоставляется в редакцию на белорусском или русском языках; шрифт – Arial, кегль – 10 (в том числе в формулах); межстрочный интервал – одинарный. Занумерованные формулы выключаются в отдельную строку. В тексте не допускаются рукописные вставки и вклейки. Статья должна быть подписана всеми авторами.

III. Статья должна иметь следующую структуру:

1. Индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК);

инициалы и фамилии авторов;
название статьи;

полное наименование учреждений, где работают авторы, с указанием города и страны, адрес электронной почты каждого автора.

2. Аннотация (авторское резюме) объемом 150–250 слов должна кратко представлять результаты работы и быть понятной, в том числе и в отрыве от основного текста статьи; должна быть информативной, хорошо структурированной (один из вариантов написания аннотации – краткое повторение структуры статьи, включающее введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение или выводы).

3. Ключевые слова – набор слов, отражающих содержание текста в терминах объекта, научной отрасли и методов исследования; рекомендуемое количество ключевых слов 5–10.

4. Затем метатекстовые данные (все то, что предшествует основному тексту статьи) приводятся на английском языке, причем аннотация должна быть оригинальной (т. е. не являться дословным переводом русскоязычной аннотации). Если статья англоязычная – вышеуказанные данные приводятся на русском (белорусском) языке.

5. Основной текст статьи должен составлять 10–16 с. (т. е. около 40 тыс. знаков); в этот объем также входят таблицы и рисунки, число которых не должно превышать 10. Изложенный материал должен быть четко структурированным: введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение (выводы). В русско- и белорусскоязычных статьях рекомендуется делать подрисуночные подписи и надписи на самих иллюстрациях на двух языках – **русском (белорусском) и английском**.

6. Список использованной литературы (не более 40 ссылок) оформляется в соответствии с требованиями Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь (ГОСТ 7.1-2003). Цитированная литература приводится общим списком по мере упоминания, ссылки в тексте даются порядковым номером в квадратных скобках (напр., [1]); ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

7. Затем приводится список цитированных источников в романском алфавите («References») со следующей структурой: авторы (транслитерация), название статьи в транслитерированном варианте [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках], название русскоязычного источника (транслитерация) [перевод названия источника на английский язык – параграф (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@nature-nas.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 (C², C₄) 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, In, 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 основным шрифтом, причем начертание символов (греческое, латинское) должно соответствовать их начертанию в тексте. Размер шрифта соизмерим с размером рисунка (желательно 9 пунктов). Фотографии предоставляются 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, между цифрами и числами тире ставится без пробелов.

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», 220076, г. Минск, Республика Беларусь, либо по электронной почте: eco@nature-nas.by. Тел. для справок: +375 17 325 84 55.