

адыходаў. Правілы праектавання і эксплуатавання [Электронны ресурс] : ТКП 17.11-02-2009 (02120/02030). – Введ. 01.07.2009 // Нац. фонд техн. норматив. правовых актов / Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь. – Режим доступа : <http://tnpa.by/#!/DocumentCard/228135/325662>. – Дата доступа : 01.07.2022.

14. Об утверждении Инструкции о порядке проведения мониторинга подземных вод [Электронный ресурс] : Постановление М-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 14 июня 2006 г., № 39 : в ред. от 29 апр. 2008 г. № 42 // КонсультантПлюс. Беларусь /ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2016.
15. Об утверждении перечня коммунальных отходов: постановление М-ва жилищ.-коммун. хоз-ва Респ. Беларусь, 30 нояб. 2001 г., № 21 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2001. – № 119. – 8/7531.

УДК 551.55 (476-14)

ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТНОГО РЕЖИМА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНО-БЕЛОРУССКОЙ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ

А. А. Волчек¹, А. В. Гречаник²

¹УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, volchak@tyt.by

²УО «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина», Брест, Беларусь, HrachanikA@tut.by

Аннотация

В работе представлена современная характеристика скорости ветра на территории Восточно-Белорусской провинции. Проведен сравнительный анализ изменений ветрового режима в период современного потепления климата. Рассмотрены годовой ход скорости ветра и распределения ветра по градациям скоростей.

Ключевые слова: ветер, скорость, изменения, градация, Восточно-Белорусская провинция.

CHANGES IN THE SPEED REGIME OF THE EASTERN-BELARUSIAN PHYSICAL-GEOGRAPHICAL PROVINCE

A. A. Volchak, A. V. Hrachanik

Abstract

The paper presents a modern characteristic of wind speed in the territory of the East Belarusian province. A comparative analysis of changes in the wind regime during the current climate warming has been carried out. The annual course of the wind speed and the distribution of the wind according to the speed gradations are considered.

Keywords: wind, speed, changes, gradation, East-Belarusian province.

Введение. Происходящие изменения климата вызывают интерес у широкого круга специалистов и общественности, так как оказывают влияние на многие сферы хозяйственной деятельности человека: от сельского хозяйства до энергетики. В национальном докладе «Уязвимость и адаптация к изменению климата

Беларуси» отмечается увеличение количества опасных гидрометеорологических явлений, среди которых наибольший ущерб экономике наносят сильные ветры и шквалы. В связи с этим изучение многолетних изменений ветрового режима имеет важное теоретическое и практическое значение. Скорость приземного ветра в Беларуси имеет тенденцию к уменьшению, это согласуется с уменьшением скорости приземного ветра на всех континентах земного шара, исключая высокие широты обоих полушарий [1].

Целью данной работы является оценка современных изменений скорости ветра на территории Восточно-Белорусской физико-географической провинции путем анализа временных рядов скорости ветра, осредненных за год, за период инструментальных наблюдений.

Восточно-Белорусская провинция расположена в умеренных широтах северного полушария на востоке Республики Беларусь. Основным климатообразующим фактором является влияние Атлантического океана, которое ослабевает при движении к востоку, что сказывается на наличии континентальных черт климата Гомельской области.

Материалы и методы. Информационную базу для проведения исследования составили данные многолетних инструментальных наблюдений за скоростью ветра на метеорологических станциях Горки, Костюковичи, Могилев, Славгород и Орша Могилевского и Витебского областных центров по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за период 1945–2015 гг. Измерения параметров ветрового потока на всех изученных станциях проводятся по стандартной методике. В исследование использованы два сравнительных интервала: 1951–1985 и 1986–2020 годы. Это обусловлено тем, что с 1986 года наблюдается современный этап потепления климата, что отражается на всех метеорологических показателях [2].

Объектом изучения является среднегодовая скорость ветра на территории Восточно-Белорусской провинции. Территория провинции неоднородна в физико-географическом отношении: большая часть расположена на Оршано-Могилевской равнине, а север – на Оршанской и Городетско-Мстиславской возвышенности. Преобладают равнинные и возвышенные формы рельефа, пересеченные долинами рек в меридиональном направлении. Основным фактором, формирующим ветровой режим провинции является циркуляция атмосферы над континентом Евразии и над Атлантикой, которая определяется наличием стационарных барических центров: исландского минимума в течение всего года, сибирского максимума зимой и азорского – летом [3, 4].

При статистическом анализе временных рядов использованы следующие методики: для выявления тенденций изменений использовались хронологические графики колебаний и разностные интегральные кривые; для оценки различий в статистических параметрах использовался критерий Стьюдента и критерий Фишера.

Полученное значение t критерия Стьюдента и F -критерия Фишера сравнивалось с их критическими значениями при заданном уровне значимости $\alpha = 5\%$. Если $t > t_{\alpha}$, принимается гипотеза статистического различия двух

выборочных средних, а при $F > F_{\alpha}$ принимается гипотеза статистического различия в колебаниях рассматриваемых рядов [5].

Результаты и обсуждение. Пространственно-корреляционная функция поля скорости ветра является однородной для Восточно-Белорусской провинции [6].

При анализе хронологического хода среднегодовой скорости ветра по метеостанциям Восточно-Белорусской провинции выявлена устойчивая тенденция снижения скорости ветра (рисунок 1, таблица 1). Одной из причин уменьшения скорости ветра является рост интенсивности Северо-Атлантического колебания и увеличение повторяемости глубоких барических образований, проходящих через территорию Европы [7].

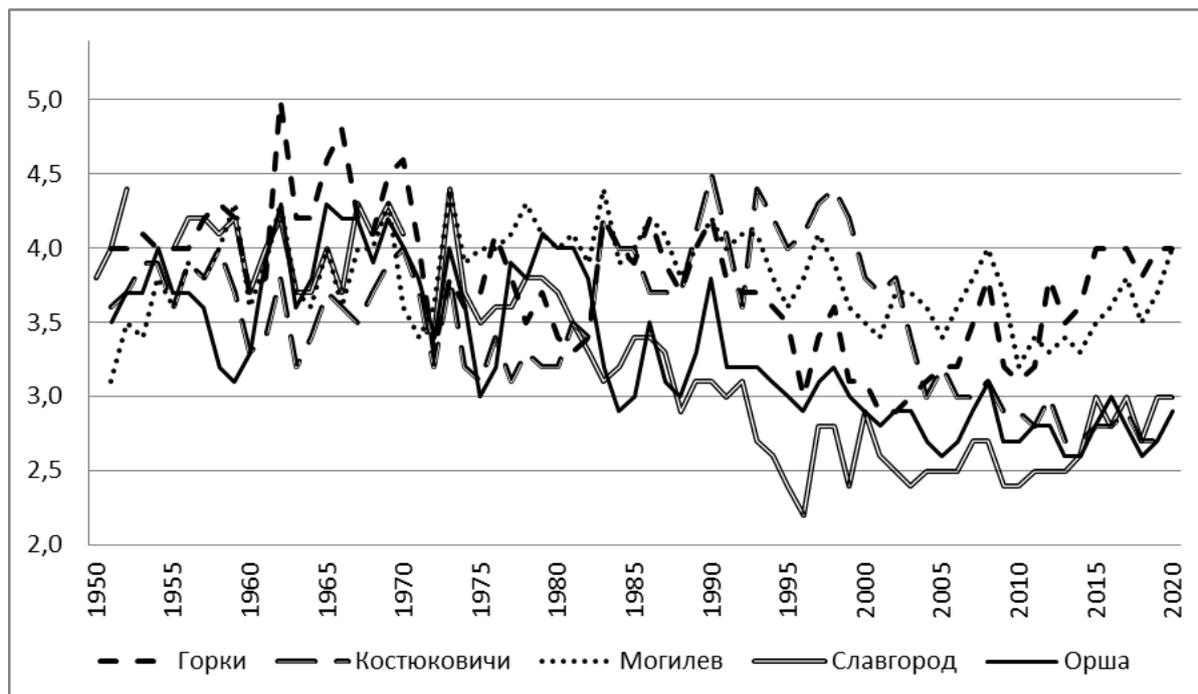


Рисунок 1– Хронологический ход среднегодовой скорости ветра по ключевым метеорологическим станциям Гомельской области (м/с)

Таблица 1 – Средние месячные скорости ветра на высоте флюгера (м/с) за 1986–2020 гг.

Метеостанция	Месяцы												Среднее за год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Горки	4,4	4,2	4,0	3,6	3,2	2,9	2,7	2,7	3,0	3,5	4,0	4,3	3,6
Костюковичи	3,9	3,8	3,9	3,7	3,4	3,1	2,8	2,8	3,0	3,3	3,6	3,8	3,4
Могилев	4,4	4,2	4,1	3,8	3,5	3,2	3,0	3,0	3,3	3,8	4,1	4,4	3,7
Славгород	3,3	3,1	3,1	2,8	2,6	2,4	2,2	2,2	2,5	2,7	2,9	3,1	2,7
Орша	3,4	3,2	3,2	3,0	2,7	2,6	2,3	2,4	2,6	3,0	3,3	3,5	2,9

Среднее значение скорости ветра на территории Восточно-Белорусской провинции за период 1986–2020 годы составляет $V_{\text{ср.}} = 3,5$ м/с. Максимальное среднегодовое значение скорости ветра наблюдалось на метеорологической станции Костюковичи в 1990 г. и составило $V_{\text{max}} = 4,5$ м/с; минимальные среднегодовые значения наблюдались на метеорологической станции Славгород

в 1996 г. и составило $V_{\min} = 2,2$ м/с, размах колебаний составил $\Delta V = 2,3$ м/с (таблица 2).

Таблица 2 – Максимальные и минимальные значения среднегодовой скорости ветра (м/с) за период 1986–2020 гг.

Метеорологическая станция	Максимальное значение скорости ветра (V_{\max})	Минимальное значение скорости ветра (V_{\min})	Размах колебаний составил (ΔV)
Горки	4,2	2,9	1,3
Костюковичи	4,5	2,7	1,8
Могилев	4,2	3,2	1,0
Славгород	3,4	2,2	1,2
Орша	3,8	2,6	1,2

Анализ среднегодовых скоростей ветра свидетельствует о наличии в многолетнем ходе этих значений статистически значимых трендов. Для всех исследуемых станций выделено два периода наблюдений: с 1986 по 2020 гг. и более ранние наблюдения 1951–1985 гг. Для выделенных интервалов и периода наблюдений в целом построены линейные тренды и определены основные статистические характеристики (среднегодовая скорость ($V_{\text{ср}}$), коэффициенты вариации (C_v), асимметрии (C_s), автокорреляции ($r(1)$), корреляции линейных трендов (r) и средний градиент скорости ветра (ΔV)) (таблица 3).

Таблица 3 – Основные статистические параметры среднегодовых скоростей ветра за различные периоды осреднения

Метеостанция	Период осреднения, годы	Коэффициенты					
		$V_{\text{ср}}$, м/с	C_v	C_s	$r(1)$	r	$\Delta V \cdot \text{м}/10 \text{ лет}$
Горки	1951–2020	3,78	0,05	0,17	0,72	0,52	-0,12
	1951–1985	4,01	0,04	0,31	0,50	0,40	-0,16
	1986–2020	3,55	0,04	-0,12	0,75	0	-0,003
Костюковичи	1951–2020	3,52	0,07	-0,08	0,82	0,43	-0,10
	1951–1985	3,60	0,03	-0,02	0,46	0,20	-0,06
	1986–2020	3,45	0,11	0,24	0,91	0,85	-0,51
Могилев	1951–2020	3,81	0,02	-0,15	0,50	0,24	-0,04
	1951–1985	3,89	0,02	-0,37	0,25	0,50	0,15
	1986–2020	3,73	0,02	0,04	0,68	0,59	-0,16
Славгород	1951–2020	3,26	0,13	0,08	0,90	0,87	-0,28
	1951–1985	3,84	0,03	-0,24	0,54	0,70	-0,25
	1986–2020	2,73	0,03	0,43	0,63	0,29	-0,08
Орша	1951–2020	3,32	0,08	0,25	0,83	0,77	-0,19
	1951–1985	3,70	0,04	-0,46	0,58	0,13	-0,05
	1986–2020	2,95	0,02	1,09	0,66	0,73	-0,19

Примечание. Выделены статистически значимые коэффициенты корреляции.

Рассмотрим устойчивость выборочных статистик (средних, коэффициентов вариации) при изменении интервалов осреднения применительно к среднегодовым скоростям ветра. Для оценки различий в скорости ветра использованы статистические критерии Стьюдента (оценка выборочных

средних) и Фишера (оценка выборочных дисперсий). В таблице 4 приведены результаты сравнительного анализа основных выборочных статистик на однородность для рассматриваемых интервалов осреднения.

Таблица 4 – Эмпирические значения t -критериев Стьюдента и F -критериев Фишера для различных интервалов осреднения

Горки	1951–1985	1986–2020	Костюковичи	1951–1985	1986–2020
1951–2020	$t=2,61,$ $F=0,77$	$t=2,64,$ $F=1,34$	1951–2020	$t=0,97,$ $F=0,39$	$t=0,64,$ $F=0,63$
1951–1985		$t=4,78,$ $F=1,04$	1951–1985		$t=1,31,$ $F=0,25$
Могилев	1951–1985	1986–2020	Славгород	1951–1985	1986–2020
1951–2020	$t=1,28,$ $F=1,03$	$t=1,37,$ $F=1,18$	1951–2020	$t=5,74,$ $F=0,31$	$t=5,72,$ $F=4,94$
1951–1985		$t=2,31,$ $F=1,21$	1951–1985		$t=13,88,$ $F=1,54$
Орша	1951–1985	1986–2020			
1951–2020	$t=4,20,$ $F=0,61$	$t=5,01,$ $F=3,60$			
1951–1985		$t=9,40,$ $F=2,18$			

Примечание: Выделены эмпирические критерии выше критических.

В результате анализа выборочных средних среднегодовых скоростей ветра за рассматриваемые интервалы статистически значимые различия при уровне значимости $\alpha=5\%$ были установлены для всех периодов по метеостанциям Горки, Славгород и Орша и для метеостанции Могилев для периодов 1951–1985 и 1986–2020. Для метеостанции Костюковичи статистических значимых различий средних среднегодовых скоростей ветра не выявлено.

Статистически значимые различия коэффициентов вариации выявлены для всех периодов метеорологической станции Орша, для метеостанции Горки для периодов 1951–2020 гг. и 1951–1985 гг., для метеостанции Костюковичи для периодов 1951–2020 гг. и 1986–2020 гг., для метеостанции Славгород для периодов 1951–2020 гг. и 1986–2020 гг. Для метеорологической станции Могилев статистически значимых различий коэффициентов вариации не выявлено.

Внутригодовой ход среднемесячных скоростей ветра на территории Восточно-Белорусской физико-географической провинции не претерпел изменений: наименьшие скорости характерны для июля – августа, наибольшие скорости характерны с ноября по февраль (рисунок 2). Такой ход скорости ветра связан с циклонической деятельностью, которая усиливается в осенне-зимний период, а в конце лета глубина и повторяемость циклонических образований уменьшается [8].

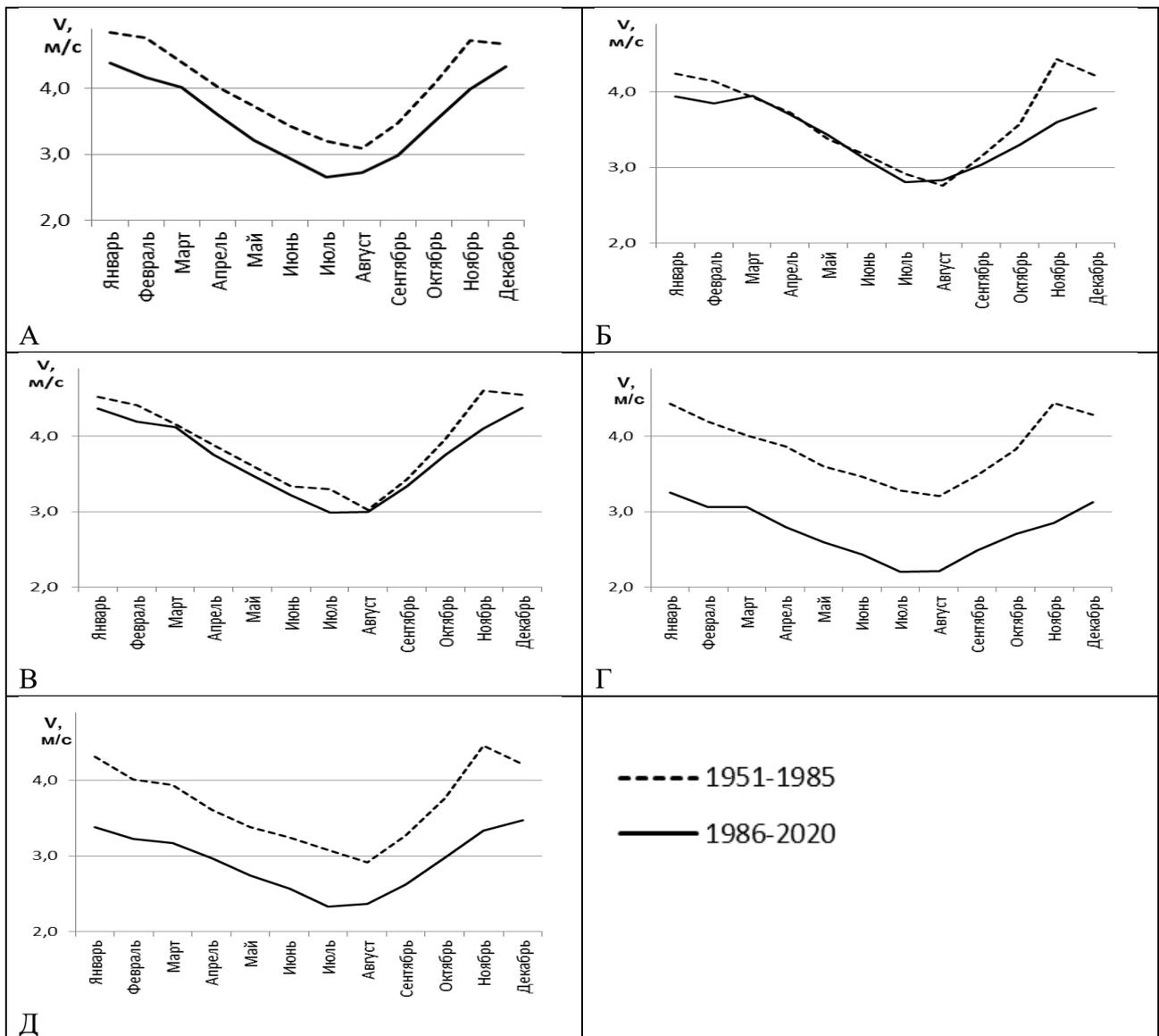
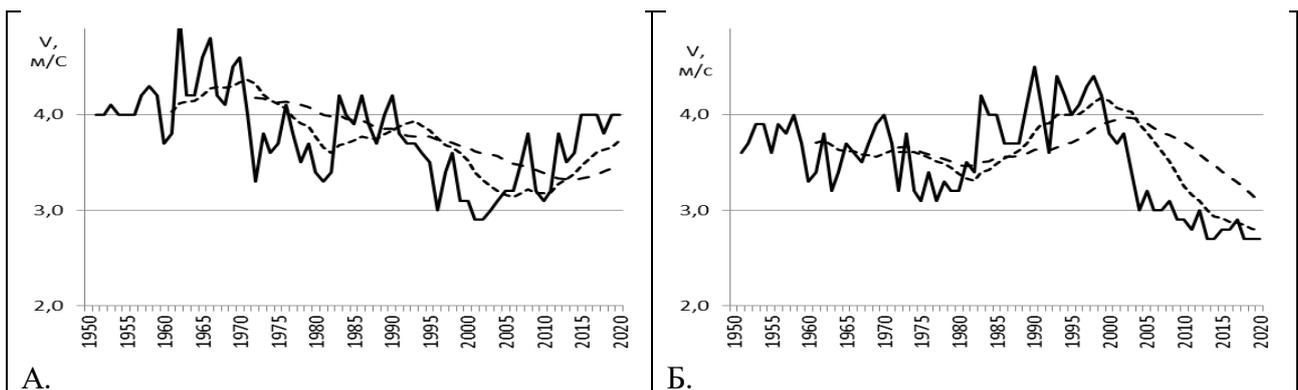


Рисунок 2 – Среднемесячные скорости ветра за различные периоды осреднения (Метеостанции: А – Горки, Б – Костюковичи, В – Могилев, Г – Славгород, Д – Орша)

Для анализа изменения скорости ветра на территории Восточно-Белорусской провинции использован прием скользящих средних с периодами осреднения 11 и 22 года (один и два солнечных цикла) (рисунок 3). Как представлено на графиках для всех исследуемых станций ход скользящих средних с периодами осреднения 11 и 22 года практически совпадает с годовым ходом скорости ветра, сглаживая амплитуду колебаний.



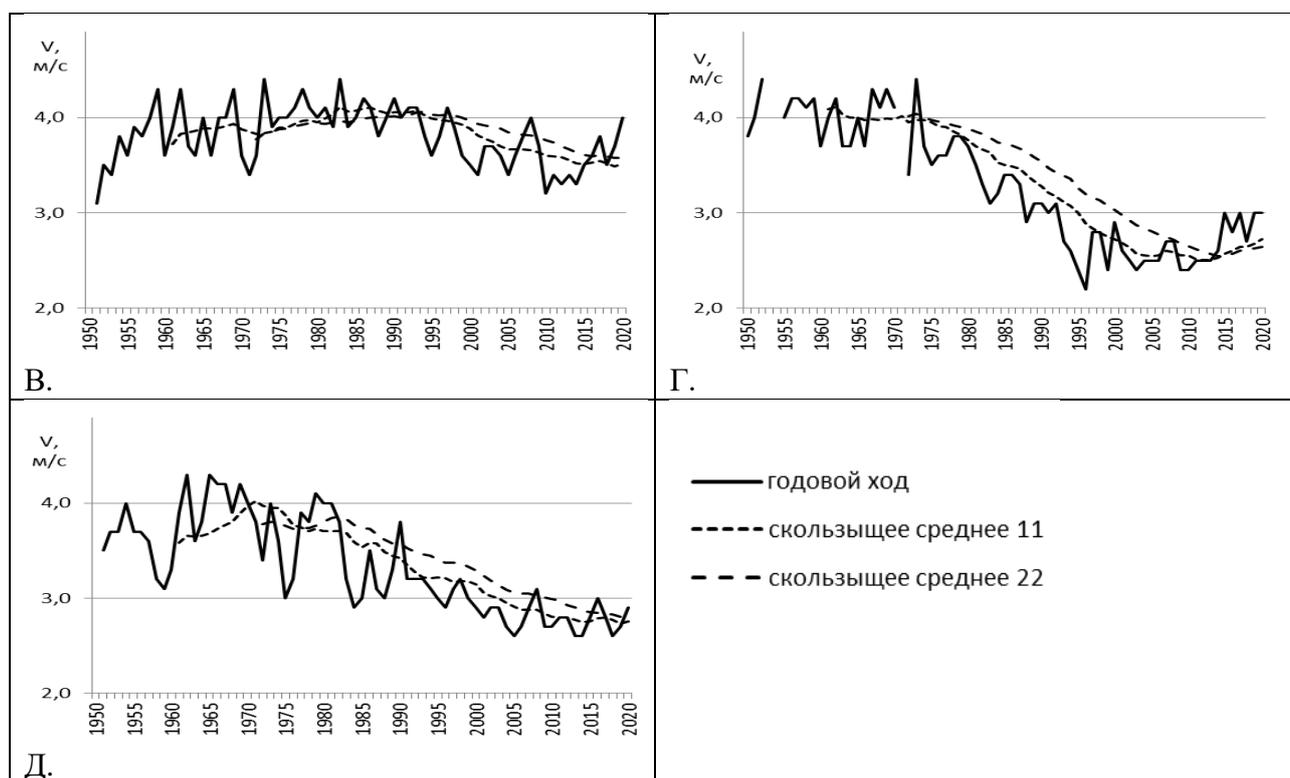


Рисунок 3 – Хронологический ход среднегодовых скоростей ветра и скользящие средние с различными периодами осреднения

(Метеостанции: А – Горки, Б – Костюковичи, В – Могилев, Г – Славгород, Д – Орша)

В ходе работы проанализирована повторяемость различных значений скорости ветра (таблица 5). Для Восточно-Белорусской провинции наиболее характерны слабые ветры (2–5 м/с) их доля составляет 63,98 %. Штилевые условия и тихие ветра характерны в 21,04 % случаев. Доля умеренных ветров (6–9 м/с) составляет 14,04 %, что выше чем средние показатели для Беларуси. Доля сильных ветров (более 10 м/с) составляет 0,94 %, реже всего они фиксируются на метеорологической станции Орша.

Таблица 5 – Распределение скорости ветра по градациям скоростей (%) за период 1986–2020 гг.

Метеостанции	Градация (м/с)									
	0–1	2–3	4–5	6–7	8–9	10–11	12–13	14–15	16–17	18–20
Горки	18,42	37,39	25,25	12,88	4,75	1,11	0,18	0,03		
Костюковичи	17,50	40,76	25,22	10,99	4,11	1,11	0,23	0,05	0	0
Могилев	14,54	34,53	31,23	14,11	4,37	1,00	0,19	0,03	0	0
Славгород	29,52	41,68	19,33	6,69	2,25	0,44	0,08	0,01	0	0
Орша	25,20	40,07	24,45	8,14	1,89	0,24	0,02	0	0	0

Закключение. В работе рассчитаны и проанализированы основные характеристики ветровых условий территории Восточно-Белорусской физико-географической провинции. Проведено сравнение характеристик скорости ветра за два периода 1951–1985 и 1986–2020 гг. Выявлена устойчивая тенденция снижения среднегодовых скоростей ветра на всей исследуемой территории. Годовой ход скорости ветра не претерпел существенных изменений, отмечено преобладание на территории провинции слабых ветров.

Список цитированных источников

1. Кижнер, Л. И. Изменение режима ветра в Томске в начале XXI века / Л. И. Кижнер, Н. Ю. Серая // Труды главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. – Спб., 2015. – Т. 576. – С. 102–113.
2. Изменения климата: последствия, смягчение, адаптация : учеб.-метод. Комплекс / М. Ю. Бобрик [и др.]. – Витебск : ВГУ им. П. М. Машерова, 2015. – 424 с.
3. Справочник по климату СССР : Белорусская ССР : Метеорологические данные за отдельные годы. – Обнинск : ВНИИГМИ – МИД, 1975. – Ч. III. – Т. I. : Направление ветра. – 1975. – 593 с.
4. Справочник по климату СССР; отв. Ред. Н. А. Малишевская – Ленинград : Гидрометеиздат, 1966. – Ч. III. – вып. 7. – 1966. – 156 с.
5. Бурлибаев, М. Ж. Колебания уровня воды озера Балкаш в условиях изменяющегося климата / М. Ж. Бурлибаев, А. А. Волчек, Д. М. Бурлибаева // Гидрометеорология и экология. – 2017. – № 2. – С. 46–65.
6. Волчек, А. А. Пространственно-временные колебания и оценка однородности временных рядов среднегодовой скорости ветра для территории Беларуси / А. А. Волчек, А. В. Гречаник // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб Зямлі. – № 1, 2019 – БрГУ имени А. С. Пушкина, 2018. – С. 76–84.
7. Логинов, В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. – Минск : ТетраСистемс, 2008. – 496 с.
8. Климат Беларуси / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск : Институт геологических наук АН Беларуси, 1996. – 234 с.

УДК 631.423.3

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОТОКСИКАНТОВ НА СКЛОНОВЫХ АГРОЛАНДШАФТАХ

А. А. Волчек¹, Н. Н. Костюченко², М. М. Дашкевич²

¹УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Беларусь, volchak@tut.by

²Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь, kost-n@rambler.ru

Аннотация

В статье анализируется химический состав дерново-подзолистой связнопесчаной почвы на склоновых агроландшафтах крутизной 0,10° и 0,22°. Установлено, что агроландшафт с уклоном местности 0,22° незначительно отличается по количеству экотоксикантов между верхней и нижней частями склона, за исключением азота нитратного в весенний период. При уклоне 0,10° содержание химических элементов в почве ниже по склону преобладало: азота аммонийного в 1,6–2,5 раз, азота нитратного в 1,6–6,9 раз, калия в 1,5–3,9 раз, тяжелых металлов в среднем 1,2–8,2 раза, по сравнению с верхней частью склона, но не превышало установленных норм.