

## ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТНОГО РЕЖИМА ВЕТРА ПРЕДПОЛЕССКОЙ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ

*А. А. Волчек<sup>1</sup>, А. В. Гречаник<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Профессор, учреждение образования «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail Volchak@tyt.by

<sup>2</sup> Преподаватель кафедры географии и природопользования, учреждение образования «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина», Брест, Беларусь, e-mail HrachanikA@tut.by

### **Аннотация**

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

**Ключевые слова:** ветер, скорость, изменения, градация, Предполесская провинция

## CHANGES IN THE WIND SPEED REGIME OF THE PREDPOLESSKAYA PHYSICAL AND GEOGRAPHICAL PROVINCE

*A. A. Volchak, A. V. Hrachanik*

### **Abstract**

The paper presents a modern characteristic of wind speed in the territory of the Predpoleska 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, Predpoleska province.

**Введение.** Современное потепление климата повлекло за собой изменение различных климатических характеристик, в том числе и ветра, что является предметом не только научных исследований, но и вызывает необходимость адаптации отраслей экономики к сложившимся климатическим условиям с учетом их развития в будущем. Происходящие климатические колебания вызваны в первую очередь природными изменениями, которые повсеместно активно происходят на фоне глобального потепления климата. Кроме того, это обусловлено и экономическими причинами, ведь во многих сферах человеческой деятельности требуется учет не только средних климатических показателей, но и оценок их экстремальных значений.

При оценке ветрового режима для целей ветроэнергетики, при расчете ветровых нагрузок на конструкции и строения, при оценке величины влияния вет-

ра на ветровую эрозию, при прогнозировании шквалов и ветровалов, т.к. они наносят серьёзный экономический ущерб [1].

Как показывают современные исследования, климат Беларуси в последние десятилетия заметно изменяется, что проявляется в изменении температурного режима, количестве осадков, опасных метеорологических явлений. 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 [2].

Целью данной работы является оценка современных изменений скорости ветра на территории Предполесской физико-географической провинции путем анализа временных рядов среднегодовых величин скорости ветра, а также среднемесячных значений за период инструментальных наблюдений.

Предполесская провинция простирается узкой полосой от западной до восточной границы страны. В центральной части она расширяется. Провинция охватывает равнины между Белорусской грядой и Полесской низменностью. Для провинции характерен равнинный рельеф с абсолютными высотами 150–180 м. Равнина имеет наклон на юг и плоский рельеф. С запада на восток протянулись водно-ледниковые равнины сожского возраста: Прибугская, Барановичская, Слуцкая, Центральноберезинская и Чечерская. Местами над равнинами возвышаются разрушенные моренные гряды. Речные долины вытянуты с севера на юг, местами врезаются на глубину 15–20 м. Основным климатообразующим фактором является влияние Атлантического океана, которое ослабевает при движении к востоку, что сказывается на наличии континентальных черт климата.

**Материалы и методы.** Информационную базу для проведения исследования составили данные многолетних инструментальных наблюдений за скоростью ветра на метеорологических станциях Жлобин, Барановичи, Пружаны, Ивацевичи, Березино, Марьино Горка, Слуцк, Бобруйск, Кличев Брестского, Гомельского, Минского и Могилевского областных центров по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за период 1951–2020 гг. Измерения параметров ветрового потока на всех изученных станциях проводятся по стандартной методике. В исследовании использованы два сравнительных интервала: 1951–1987 и 1988–2020 годы. Это обусловлено тем, что с 1988 года наблюдается современный этап потепления климата, что отражается на всех метеорологических показателях [3].

Объектом изучения является среднегодовая скорость ветра на территории Предполесской провинции. Основным фактором, формирующим ветровой режим провинции, является циркуляция атмосферы, которая определяется наличием стационарных барических центров: исландского минимума в течение всего года, сибирского максимума зимой и азорского – летом [4, 5], над континентом Евразии и Атлантикой.

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 – 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  $F > F_{\alpha}$  – статистического различия в колебаниях рассматриваемых рядов [6].

**Результаты и обсуждение.** Предполесская провинция характеризуется неоднородным полем пространственно-корреляционной функции, что связано с большой протяженностью территории и ее физико-географическими особенностями. Предполесская провинция протянулась с запада на восток через всю Беларусь. Однородность поля ветра данной провинции увеличивается, если исключить данные метеорологических станций, расположенных на западе – Ивацевичи и Пружаны [7].

Среднее значение скорости ветра на территории Предполесской провинции за период 1988–2020 годы составляет  $V_{\text{ср.}} = 2,8$  м/с. Максимальное среднегодовое значение скорости ветра наблюдалось на метеорологической станции Слуцк в 1990 г. и составило  $V_{\text{max}} = 4,1$  м/с; минимальные среднегодовые значения наблюдались на метеорологической станции Жлобин в 1994 и 1995 гг. и составило  $V_{\text{min}} = 1,7$  м/с, средний размах колебаний составил  $\Delta V = 1,2$  м/с (таблица 1).

**Таблица 1** – Значения среднегодовой скорости ветра (м/с) за период 1988–2020 гг.

Метеорологическая станция	Максимальное значение скорости ветра ( $V_{\text{max}}$ )	Минимальное значение скорости ветра ( $V_{\text{min}}$ )	Размах колебаний составил ( $\Delta V$ )
Жлобин	2,5	1,7	0,8
Барановичи	3,6	2,5	1,1
Пружаны	4,0	2,9	1,1
Ивацевичи	2,6	1,7	0,9
Березино	2,9	2,0	0,9
Марьино Горка	3,4	1,9	1,5
Слуцк	4,1	2,5	1,6
Бобруйск	3,8	2,3	1,5
Кличев	3,4	2,2	1,2

Анализ среднегодовых скоростей ветра свидетельствует о наличии в многолетнем ходе статистически значимых трендов. Для всех исследуемых метеостанций выделено два периода наблюдений: с 1988 по 2020 гг. и более ранние наблюдения 1951–1987 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 ( $\Delta V$ )) (таблица 2).

**Таблица 2** – Основные статистические параметры среднегодовых скоростей ветра за различные периоды осреднения

Метеостанция	Период осреднения, годы	Коэффициенты				
		$V_{ср}$ , м/с	$C_v$	$r(1)$	$r$	$\Delta V$ :м/10 лет
Жлобин	1951-2017	2,76	0,16	<b>0,92</b>	<b>0,86</b>	-0,30
	1951–1987	3,24	0,08	<b>0,78</b>	<b>0,74</b>	-0,36
	1988–2017	2,19	0,02	<b>0,72</b>	0,07	-0,02
Барановичи	1951-2020	3,50	0,08	<b>0,86</b>	<b>0,85</b>	-0,22
	1951–1987	3,89	0,03	<b>0,47</b>	0,29	-0,09
	1988–2020	3,07	0,09	<b>0,82</b>	<b>0,83</b>	-0,27
Пружаны	1951-2013	3,23	0,09	<b>0,84</b>	0,07	-0,02
	1951–1987	3,11	0,11	<b>0,87</b>	<b>0,83</b>	-0,45
	1988–2013	3,39	0,05	<b>0,69</b>	0,18	0,10
Ивацевичи	1951-2020	2,49	0,11	<b>0,90</b>	<b>0,88</b>	-0,24
	1951–1987	2,81	0,07	<b>0,84</b>	<b>0,80</b>	-0,33
	1988–2020	2,08	0,04	<b>0,73</b>	<b>0,70</b>	-0,22
Березино	1951-2020	2,60	0,09	<b>0,90</b>	<b>0,85</b>	-0,20
	1951–1987	2,87	0,08	<b>0,87</b>	<b>0,90</b>	-0,39
	1988–2020	2,30	0,03	<b>0,77</b>	<b>0,75</b>	-0,20
Марына Горка	1951-2020	3,29	0,16	<b>0,94</b>	<b>0,91</b>	-0,33
	1951–1987	3,80	0,08	<b>0,85</b>	<b>0,71</b>	-0,36
	1988–2020	2,73	0,06	<b>0,92</b>	<b>0,94</b>	-0,41
Слуцк	1951-2020	3,52	0,04	<b>0,63</b>	<b>0,66</b>	-0,13
	1951–1987	3,75	0,02	-0,05	0,17	0,04
	1988–2020	3,27	0,04	<b>0,61</b>	<b>0,73</b>	-0,28
Бобруйск	1951-2020	3,14	0,08	<b>0,75</b>	<b>0,44</b>	-0,11
	1951–1987	3,29	0,06	<b>0,58</b>	0,14	0,06
	1988–2020	2,96	0,08	<b>0,88</b>	<b>0,88</b>	-0,44
Кличев	1959-2020	2,87	0,05	<b>0,63</b>	<b>0,51</b>	-0,10
	1959–1987	2,99	0,04	<b>0,51</b>	<b>0,36</b>	-0,15
	1988–2020	2,76	0,04	<b>0,67</b>	<b>0,62</b>	-0,23

*Примечание.* Выделены статистически значимые коэффициенты корреляции

При анализе хронологического хода среднегодовой скорости ветра по метеостанциям выявлена устойчивая тенденция снижения скорости ветра. Одной из причин уменьшения скорости ветра является рост интенсивности Северо-Атлантического колебания и увеличение повторяемости глубоких барических образований, проходящих через территорию Европы [8].

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 3 приведены результаты сравнительного анализа основных выборочных статистик на однородность для рассматриваемых интервалов осреднения.

**Таблица 3** – Эмпирические значения t-критериев Стьюдента и F-критериев Фишера для различных интервалов осреднения

Жлобин	1951–1987	1988–2017	Барановичи	1951–1987	1988–2020
1951–2017	$t=4,04,$ $F=1,68$	$t=6,31,$ $F=9,36$	1951–2020	$t=4,70,$ $F=2,52$	$t=5,28,$ $F=2,83$
1951–1987		$t=11,16,$ $F=5,58$	1951–1987		$t=10,78,$ $F=1,12$
Пружаны	1951–1987	1988–2013	Ивацевичи	1951–1987	1988–2020
1951–2013	$t=0,97,$ $F=1,20$	$t=1,54,$ $F=1,70$	1951–2020	$t=3,16,$ $F=1,37$	$t=4,95,$ $F=3,67$
1951–1987		$t=2,20,$ $F=2,05$	1951–1987		$t=8,02,$ $F=2,69$
Березино	1951–1987	1988–2020	Марьина Горка	1951–1987	1988–2020
1951–2020	$t=2,78,$ $F=0,48$	$t=4,15,$ $F=3,50$	1951–2020	$t=4,02,$ $F=1,77$	$t=4,94,$ $F=2,91$
1951–1987		$t=6,36,$ $F=3,41$	1951–1987		$t=9,15,$ $F=1,65$
Слуцк	1951–1987	1988–2020	Бобруйск	1951–1987	1988–2020
1951–2020	$t=3,67,$ $F=2,55$	$t=3,19,$ $F=1,12$	1951–2020	$t=1,60,$ $F=1,15$	$t=1,69,$ $F=1,06$
1951–1987		$t=6,32,$ $F=2,29$	1951–1987		$t=2,89,$ $F=1,08$
Кличев	1951–1987	1988–2020			
1951–2020	$t=1,51,$ $F=1,11$	$t=1,37,$ $F=1,07$			
1951–1987		$t=2,53,$ $F=1,03$			

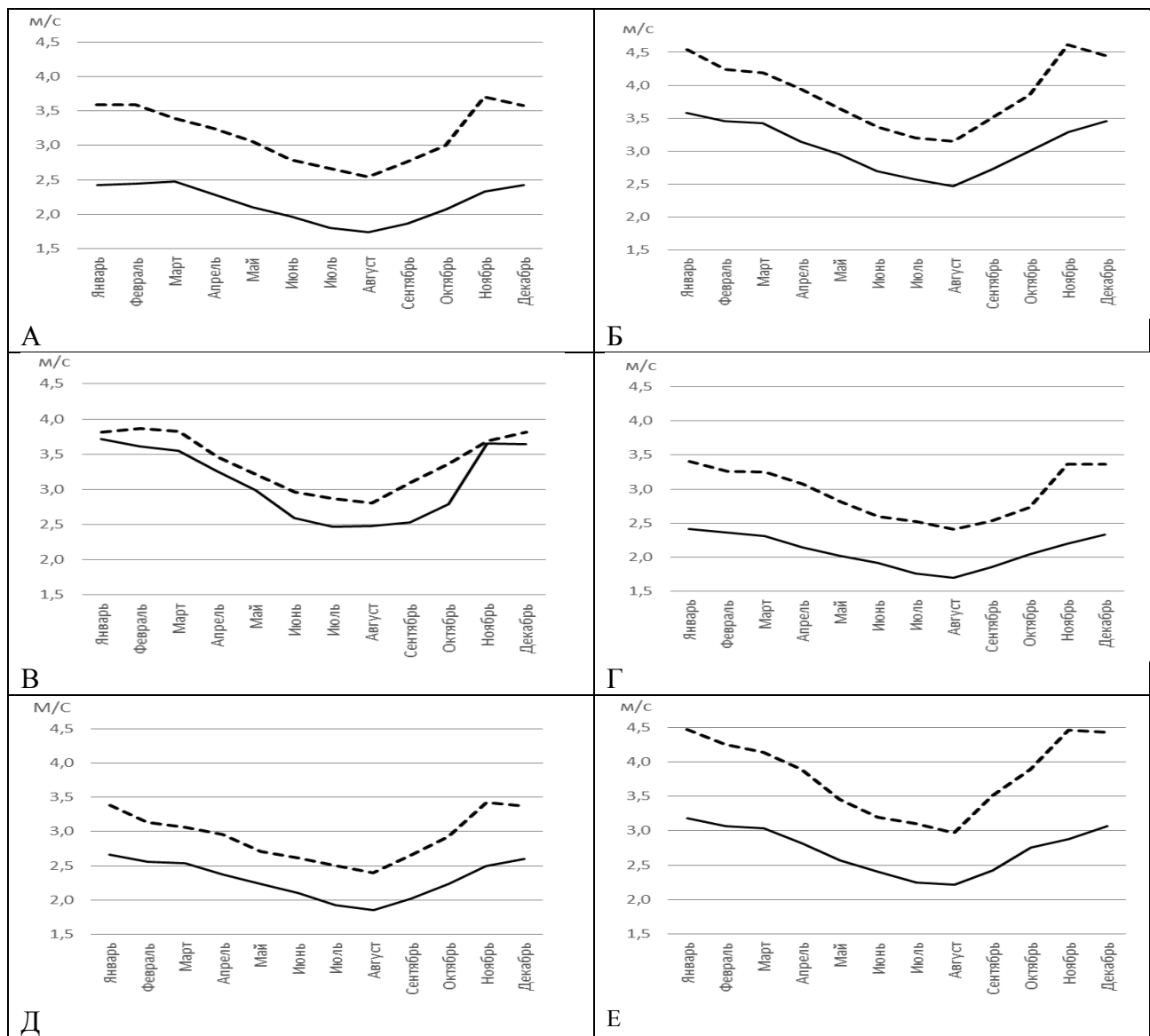
*Примечание:* Выделены эмпирические критерии выше критических

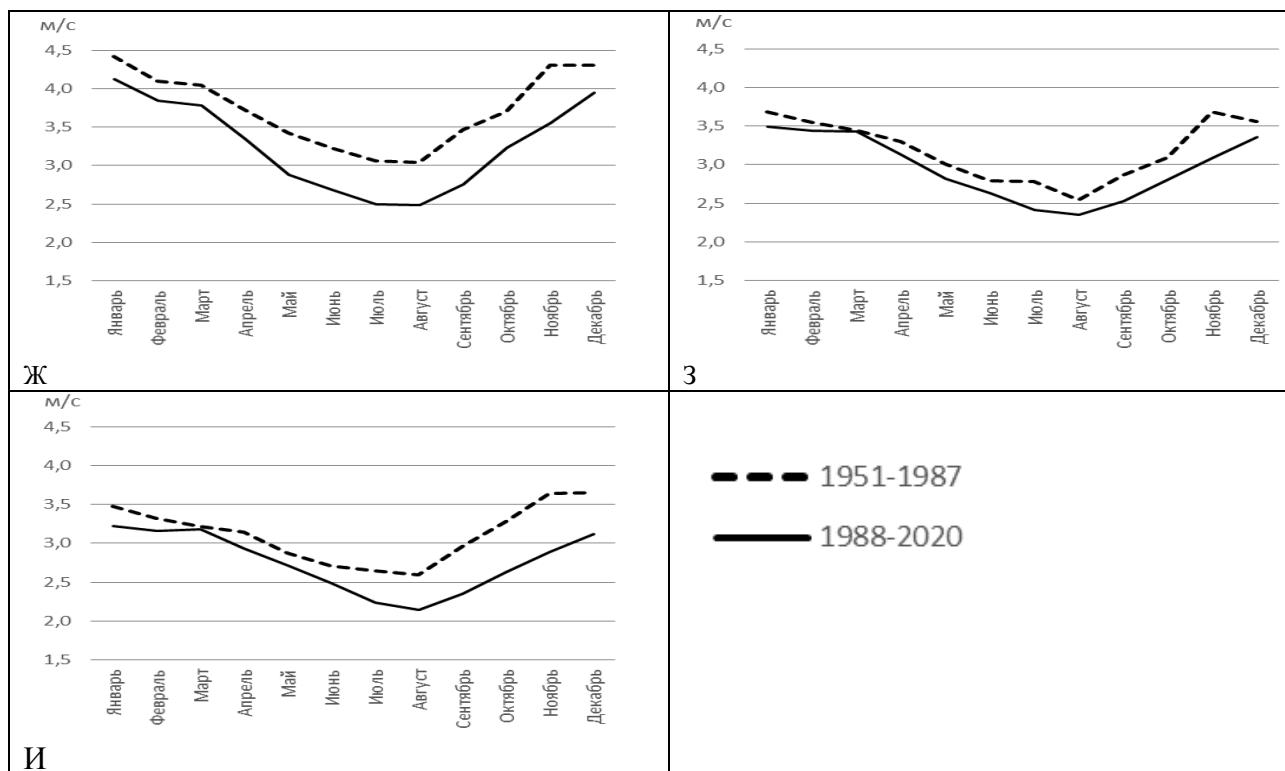
В результате анализа выборочных средних среднегодовых скоростей ветра за рассматриваемые интервалы статистически значимые различия при уровне значимости  $\alpha=5\%$  были установлены для всех периодов по метеостанциям Жлобин, Барановичи, Ивацевичи, Березино, Марьина Горка, Слуцк, для метеостанции Бобруйск для периодов 1951–2020 и 1988–2020, 1951–1987 и 1988–2020 и для метеостанций Пружаны, Кличев для периодов 1951–1987 и 1988–2020.

Статистически значимые различия коэффициентов вариации выявлены для всех периодов метеорологической станции Жлобин, для метеостанций Барановичи и Марьина Горка для периодов 1951–2020 и 1951–1987, 1951–2020 и 1988–2020, для метеостанций Ивацевичи и Березино для периодов 1951–2020 и 1988–2020, 1951–1987 и 1988–2020, для метеостанции Слуцк для периодов

1951–2020 и 1951–1987, 1951–1987 и 1988–2020, для метеостанции Пружаны для периодов 1951–1987 и 1988–2020. Для метеорологических станций Бобруйск и Кличев статистически значимых различий коэффициентов вариации не выявлено.

Внутригодовой ход среднемесячных скоростей ветра на территории Предполесской физико-географической провинции не претерпел изменений: наименьшие скорости характерны для июля–августа, наибольшие скорости характерны с ноября по февраль (рисунок). Такой ход скорости ветра связан с циклонической деятельностью, которая усиливается в осенне-зимний период, а в конце лета глубина и повторяемость циклонических образований уменьшается [9].





**Рисунок 1** – Среднемесячные скорости ветра за различные периоды осреднения (Метеостанции: А – Жлобин, Б – Барановичи, В – Пружаны, Г – Ивацевичи, Д – Березино, Е – Марьяна Горка, Ж – Слуцк, З – Бобруйск, И – Кличев)

Для анализа изменения скорости ветра на территории Предполесской провинции использован прием скользящих средних с периодами осреднения 11 и 22 года (один и два солнечных цикла). Для всех исследуемых станций ход скользящих средних с периодами осреднения 11 и 22 года практически совпадает с годовым ходом скорости ветра, сглаживая амплитуду колебаний.

В ходе работы проанализирована повторяемость различных значений скорости ветра (таблица 4). Для Предполесской провинции наиболее характерны слабые ветры (2–5 м/с), их доля составляет 65,7 %. Штилевые условия и тихие ветры характерны в 26,5 % случаев. Доля умеренных ветров (6–9 м/с) составляет 7,5 %, что сопоставимо со средними показателями для Беларуси. Доля сильных ветров (более 10 м/с) составляет 0,5 %, чаще всего они фиксируются на метеорологических станциях Слуцк и Кличев, а в Ивацевичах и Березино такие ветры не отмечаются.

**Таблица 4** – Распределение скорости ветра по градациям скоростей (%) за период 1988–2020 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
Жлобин	32,9	51,0	14,2	1,8	0,2	0,02				
Барановичи	19,2	44,5	26,8	7,5	1,7	0,3	0,04	0,01		
Пружаны	14,9	43,0	28,6	10,6	2,4	0,4	0,1	0,01		
Ивацевичи	38,2	47,3	12,7	1,6	0,1					
Березино	31,3	49,7	17,0	1,9	0,1					

Метеостанции	Градации (м/с)									
	0–1	2–3	4–5	6–7	8–9	10–11	12–13	14–15	16–17	18–20
Марьина Горка	25,2	47,1	21,0	5,3	1,1	0,2	0,04	0,01		
Слуцк	21,4	39,5	24,2	10,4	3,4	0,9	0,2	0,03		
Бобруйск	24,7	40,3	23,9	9,0	1,8	0,3	0,03			
Кличев	30,4	40,8	19,3	5,9	2,8	0,6	0,2	0,03	0,01	

**Заключение.** В работе дана оценка основных характеристик ветровых условий Предполесской физико-географической провинции. Проведено сравнение характеристик скорости ветра за два периода 1951–1987 и 1988–2020 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. Суркова, Г. В. Изменения средних и экстремальных скоростей ветра в Арктике в конце XXI века / Г. В. Суркова, А. А. Крылов // Арктика и Антарктика. – 2018. – № 3. – С. 26–36
2. 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.
3. Изменения климата: последствия, смягчение, адаптация : учеб.-метод. Комплекс / М. Ю. Бобрик [и др.]. – Витебск : ВГУ им. П. М. Машерова, 2015. – 424 с.
4. Справочник по климату СССР : Белорусская ССР : Метеорологические данные за отдельные годы. – Обнинск : ВНИИГМИ – МИД, 1975. – Ч. III. – Т. I. : Направление ветра. – 1975. – 593 с.
5. Справочник по климату СССР; отв. Ред. Н. А. Малишевская – Ленинград : Гидрометеоздат, 1966. – Ч. III. – вып. 7. – 1966. – 156 с.
6. 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.
7. 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.
8. Логинов, В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. – Минск : ТетраСистемс, 2008. – 496 с.
9. Климат Беларуси / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск : Институт геологических наук АН Беларуси, 1996. – 234 с.