

---

# НАВУКІ АБ З'ЯМЛІ

---

УДК 551.55 (476-14)

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

*<sup>1</sup>д-р геогр. наук, проф., декан факультета инженерных систем и экологии  
Брестского государственного технического университета*

*<sup>2</sup>магистр геогр. наук, аспирант каф. географии и природопользования  
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина  
e-mail: Volchak@tyt.by<sup>1</sup>, Grachanika@tut.by<sup>2</sup>*

## ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ВЕТРОВОГО РЕЖИМА ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

*Представлены изменения и современная оценка скорости и направления ветра на территории Гомельской области по данным метеорологических станций Брагин, Василевичи, Гомель, Житковичи, Жлобин, Лельчицы, Мозырь, Октябрь, Чечерск. Проведена оценка степени однородности основных характеристик временных рядов скорости ветра.*

### **Введение**

Современные изменения климата оказывают влияние на многие сферы хозяйственной деятельности человека: от сельского хозяйства до энергетики, поэтому вызывают интерес у широкого круга специалистов и общественности. В национальном докладе «Уязвимость и адаптация к изменению климата Беларуси» большое внимание уделено происходящим изменениям температуры воздуха и количества осадков, рассматривается увеличение 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. В последние десятилетия отмечается, что 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].

Гомельская область расположена в умеренных широтах северного полушария на юго-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.

Целью данной работы является оценка современных изменений скорости ветра, на территории Гомельской области путем анализа временных рядов скорости ветра, осредненных за год, за период инструментальных наблюдений.

### **Материалы и методы исследования**

Информационную базу для проведения исследования составили данные многолетних инструментальных наблюдений за скоростью ветра на метеорологических станциях Брагин, Василевичи, Гомель, Житковичи, Жлобин, Лельчицы, Мозырь, Октябрь, Чечерск Гомельского областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за 1945–2015 гг. Измерения параметров ветрового потока на всех изученных станциях проводятся по стандартной методике. Согласно определению Всемирной метеорологической организации, период в 30 лет является классическим периодом для усреднения климатических характеристик [2].

Объектом изучения является среднегодовая скорость ветра на территории Гомельской области Республики Беларусь. Территория Гомельской области однородна в физико-географическом отношении: большая часть ее территории расположена на заболоченной Полесской низменности, а юго-восток и восток – на Приднепровской низ-

менности. Преобладает низменный рельеф с высотами 135–150 м. Основным фактором, формирующим ветровой режим области, 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].

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 [4].

### Результаты и их обсуждение

При анализе хронологического хода среднегодовой скорости ветра на метеостанциях Гомельской области 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 [5].

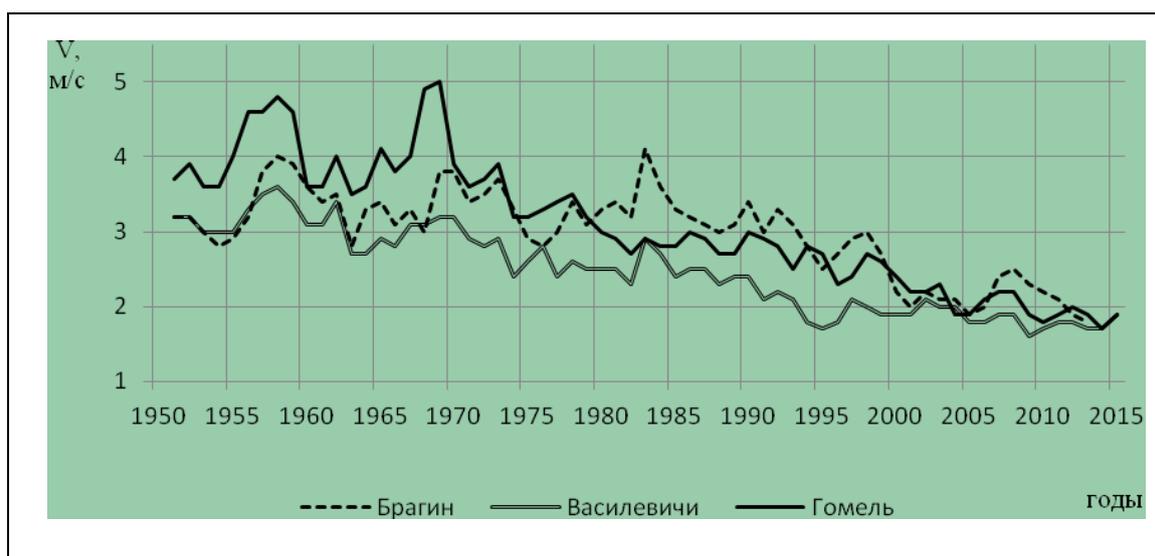


Рисунок 1. – Хронологический ход среднегодовой скорости ветра по ключевым метеорологическим станциям Гомельской области, м/с

Таблица 1. – Средние месячные скорости ветра на высоте флюгера за 1986–2015 гг., м/с

Метеостанция	Месяцы												Среднее за год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Брагин	3,1	3,0	3,0	2,7	2,4	2,0	1,9	2,0	2,3	2,5	2,8	2,9	2,6
Василевичи	2,4	2,4	2,3	2,1	1,9	1,7	1,5	1,5	1,6	1,9	2,2	2,3	2,0
Гомель	2,7	2,6	2,6	2,4	2,3	2,2	2,0	1,9	2,0	2,2	2,5	2,7	2,4
Житковичи	2,5	2,4	2,5	2,3	2,1	2,0	1,9	1,8	1,8	2,0	2,3	2,4	2,2
Жлобин	2,5	2,5	2,5	2,3	2,2	2,0	1,8	1,8	1,9	2,1	2,4	2,5	2,2
Лельчицы	2,7	2,6	2,6	2,4	2,3	2,2	2,0	2,0	2,1	2,2	2,5	2,6	2,3
Мозырь	2,5	2,4	2,4	2,3	2,1	1,9	1,8	1,7	1,9	2,0	2,3	2,4	2,1
Октябрь	3,3	3,2	3,2	3,0	2,8	2,6	2,5	2,5	2,7	2,9	3,1	3,2	2,9
Чечерск	2,5	2,4	2,5	2,3	2,1	1,9	1,7	1,8	2,0	2,1	2,3	2,6	2,2

Среднее значение скорости ветра на территории Гомельской области за анализируемый период составляет  $V_{\text{ср.}} = 2,3$  м/с (рисунок 5). Максимальное среднегодовое значение скорости ветра наблюдалось на метеорологической станции Октябрь в 1987 г. и составило  $V_{\text{max}} = 3,5$  м/с; минимальные среднегодовые значения наблюдались на метеорологических станциях Василевичи и Чечерск в 2009 и 2006 гг. соответственно и составили  $V_{\text{min}} = 1,6$  м/с, размах колебаний составил  $\Delta V = 1,9$  м/с (таблица 2).

Таблица 2. – Максимальные и минимальные значения среднегодовой скорости ветра за период 1986–2015 гг., м/с

Метеостанция	Скорость ветра		Размах колебаний ( $\Delta V$ )
	$V_{\text{max}}$	$V_{\text{min}}$	
Брагин	3,4	1,8	1,6
Василевичи	2,5	1,6	0,9
Гомель	3,0	1,7	1,3
Житковичи	2,6	1,7	0,9
Жлобин	2,5	1,7	0,8
Лельчицы	3,0	1,8	1,2
Мозырь	2,7	1,7	1,0
Октябрь	3,5	2,4	1,1
Чечерск	3,1	1,6	1,5

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 2015 гг. и с 1951 по 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 ( $\Delta V$ ) (таблица 3, рисунок 6).

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

Метеостанция	Период осреднения, годы	Коэффициенты					$\Delta V$ , м/с 10 лет
		$V_{\text{ср.}}$ , м/с	$C_v$	$C_s$	$r(1)$	$r$	
Брагин	1951–2013	2,99	0,11	-0,38	0,85	0,72	-0,23
	1951–1985	3,34	0,04	0,33	0,46	0,10	0,03
	1986–2013	2,55	0,09	0,12	0,89	0,87	-0,52
Василевичи	1951–2015	2,48	0,12	0,17	0,93	0,93	-0,27
	1951–1985	2,91	0,04	0,07	0,71	0,74	-0,25
	1986–2015	1,98	0,03	0,76	0,81	0,78	-0,22
Гомель	1951–2015	3,08	0,23	0,37	0,93	0,91	-0,41
	1951–1985	3,70	0,10	0,44	0,78	0,64	-0,38
	1986–2015	2,35	0,07	0,11	0,87	0,92	-0,42
Житковичи	1951–2015	2,49	0,09	0,35	0,94	0,95	-0,23
	1951–1985	2,87	0,05	-0,19	0,87	0,93	-0,30
	1986–2015	2,17	0,03	-0,39	0,88	0,88	-0,27
Жлобин	1951–2015	2,67	0,15	0,77	0,91	0,86	-0,29
	1951–1985	3,23	0,08	0,08	0,75	0,75	-0,34
	1986–2015	2,20	0,02	-0,51	0,73	0,15	-0,04
Лельчицы	1951–2013	2,81	0,14	0,39	0,93	0,94	-0,32
	1951–1985	3,32	0,06	0,55	0,75	0,83	-0,32
	1986–2013	2,35	0,05	0,36	0,89	0,89	-0,38

Продолжение таблицы 3

Мозырь	1957–2015	2,58	0,18	0,80	<b>0,92</b>	<b>0,85</b>	-0,34
	1957–1985	3,25	0,09	-0,28	<b>0,77</b>	<b>0,60</b>	-0,33
	1986–2015	2,13	0,03	0,83	<b>0,80</b>	<b>0,49</b>	-0,15
Октябрь	1958–2015	3,09	0,05	-0,05	<b>0,82</b>	<b>0,78</b>	-0,19
	1958–1985	3,35	0,03	0,52	<b>0,50</b>	<b>0,67</b>	-0,21
	1986–2015	2,93	0,05	0,12	<b>0,84</b>	<b>0,83</b>	-0,36
Чечерск	1951–2013	2,89	0,19	-0,13	<b>0,93</b>	<b>0,96</b>	-0,36
	1951–1985	3,36	0,06	0,30	<b>0,72</b>	<b>0,86</b>	-0,33
	1986–2013	2,16	0,10	0,79	<b>0,90</b>	<b>0,92</b>	-0,43

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

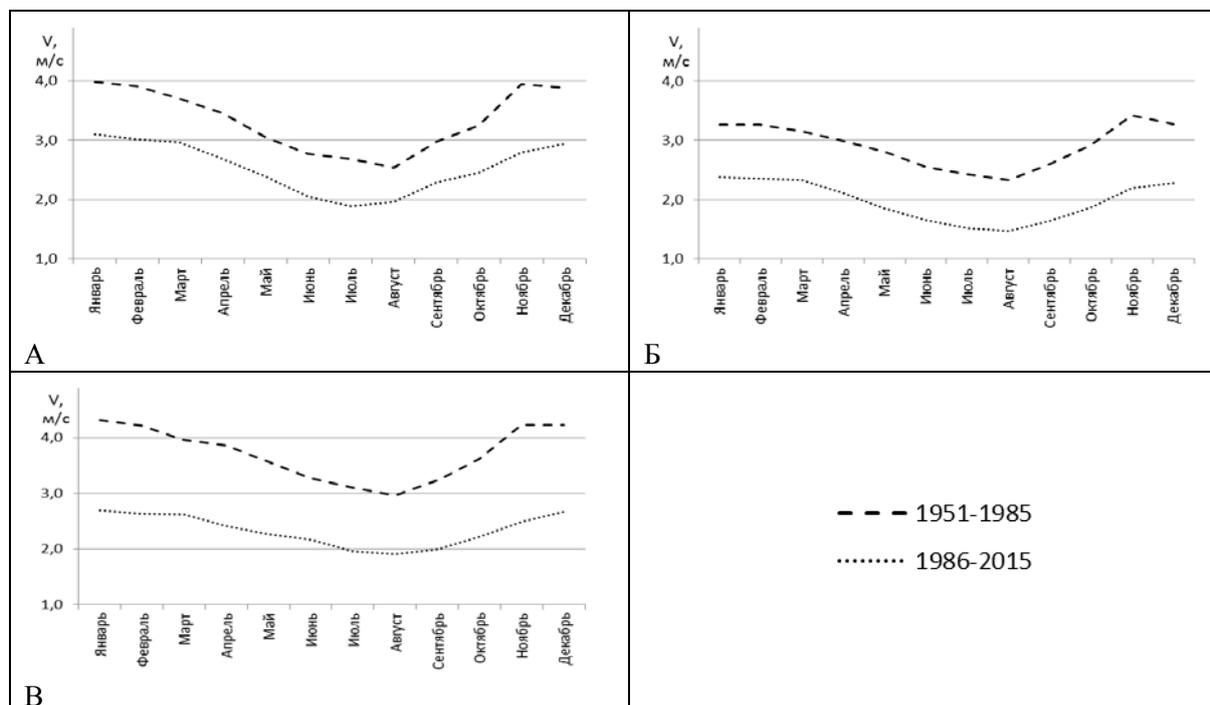
Брагин	1951–1985	1986–2013	Василевичи	1951–1985	1986–2015
1951–2013	<b><i>t</i> = 3,77, <i>F</i> = 2,71</b>	<b><i>t</i> = 3,73, <i>F</i> = 1,36</b>	1951–2015	<b><i>t</i> = 4,77, <i>F</i> = 2,63</b>	<b><i>t</i> = 6,07, <i>F</i> = 4,98</b>
1951–1985		<b><i>t</i> = 7,18, <i>F</i> = 0,50</b>	1951–1985		<b><i>t</i> = 12,64, <i>F</i> = 1,89</b>
Гомель	1951–1985	1986–2015	Житковичи	1951–1985	1986–2015
1951–2015	<b><i>t</i> = 4,19, <i>F</i> = 1,94</b>	<b><i>t</i> = 5,64, <i>F</i> = 4,57</b>	1951–2015	<b><i>t</i> = 3,79, <i>F</i> = 1,55</b>	<b><i>t</i> = 4,03, <i>F</i> = 3,18</b>
1951–1985		<b><i>t</i> = 10,62, <i>F</i> = 2,36</b>	1951–1985		<b><i>t</i> = 7,77, <i>F</i> = 2,06</b>
Жлобин	1951–1985	1986–2015	Лельчицы	1951–1985	1986–2013
1951–2015	<b><i>t</i> = 4,07, <i>F</i> = 1,47</b>	<b><i>t</i> = 4,86, <i>F</i> = 8,57</b>	1951–2013	<b><i>t</i> = 4,13, <i>F</i> = 1,99</b>	<b><i>t</i> = 4,20, <i>F</i> = 3,20</b>
1951–1985		<b><i>t</i> = 9,01, <i>F</i> = 5,81</b>	1951–1985		<b><i>t</i> = 8,73, <i>F</i> = 1,61</b>
Мозырь	1957–19 5	1986–20 5	Октябрь	1958–1985	1986–2015
1957–2015	<b><i>t</i> = 4,27, <i>F</i> = 1,52</b>	<b><i>t</i> = 4,15, <i>F</i> = 6,77</b>	1958–2015	<b><i>t</i> = 2,80, <i>F</i> = 1,77</b>	<b><i>t</i> = 1,78, <i>F</i> = 1,13</b>
1957–1 85		<b><i>t</i> = 8,42, <i>F</i> = 4,46</b>	1958–1985		<b><i>t</i> = 4,21, <i>F</i> = 0,64</b>
Чечерск	1951–1985	1986–2013			
1951–2013	<b><i>t</i> = 3,16, <i>F</i> = 2,67</b>	<b><i>t</i> = 4,45, <i>F</i> = 2,58</b>			
1951–1985		<b><i>t</i> = 8,12, <i>F</i> = 0,97</b>			

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 Брагин, Василевичи, Гомель, Житковичи, Жлобин, Лельчицы, Мозырь, Чечерск и для метеостанции Октябрь для периодов 1958–2015 и 1958–1985 гг., 1958–1985 и 1986–2015 гг. Статистически значимые различия коэффициентов вариации выявлены для всех периодов метеорологических станций Василевичи, Гомель, Чечерск, для метеостанции Брагин для периода 1951–2013 и 1951–1985 гг., для метеостанции Житковичи для периодов 1951–2015 и 1986–2015 гг., 1951–1985 и 1986–2015 гг., для метеостанции Жлобин для периодов 1951–2015 и 1986–2015 гг., 1951–1985 и 1986–2015 гг., для метеостанции Лельчицы для периодов 1951–2013 и 1951–1985 гг., 1951–2013 и 1986–2013 гг., для метеостанции

Мозырь для периодов 1957–2015 и 1986–2015 гг., 1957–1985 и 1986–2015 гг., для метеостанции Октябрь для периодов 1958–1985 и 1986–2015 гг.

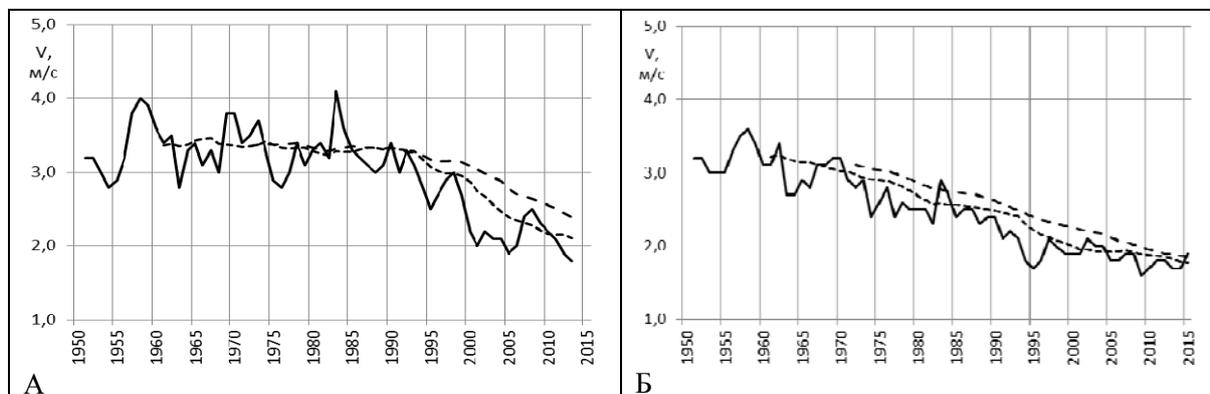
Внутригодовой ход среднемесячных скоростей ветра на территории Гомельской области не претерпел изменений: наименьшие скорости характерны для июля–августа, наибольшие скорости характерны с ноября по февраль (рисунок 2). Такой ход скорости ветра связан с циклонической деятельностью, которая усиливается в осенне-зимний период, а в конце лета глубина и повторяемость циклонических образований уменьшается [6].

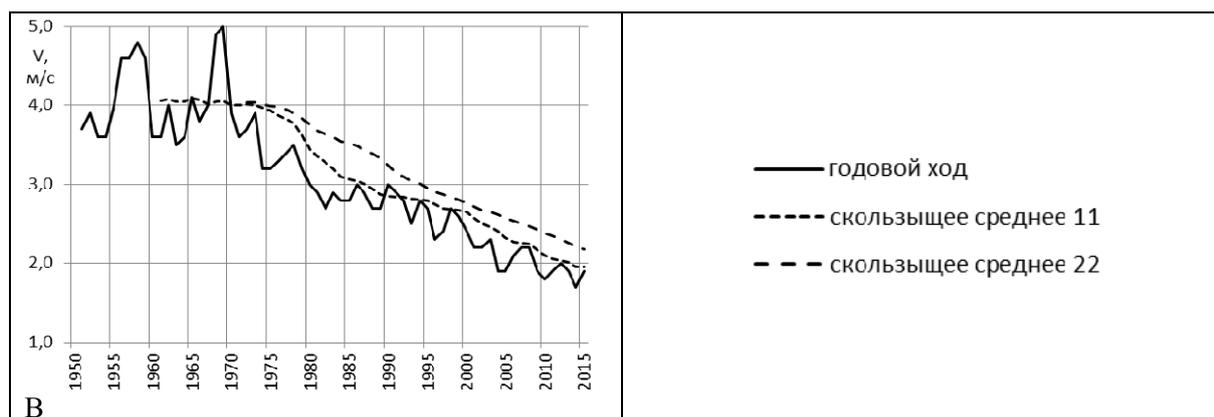


Метеостанции: А – Брагин, Б – Василевичи, В – Гомель

**Рисунок 2. – Среднемесячные скорости ветра за различные периоды осреднения**

Для анализа изменения скорости ветра на территории Гомельской области использован прием скользящих средних с периодами осреднения 11 лет и 22 года (один и два солнечных цикла) для метеорологических станций Брагин, Гомель, Василевичи (рисунок 3). Как следует из графиков, для всех исследуемых станций ход скользящих средних с периодами осреднения 11 лет и 22 года практически совпадает с годовым ходом скорости ветра; амплитуда колебаний сглаживается.



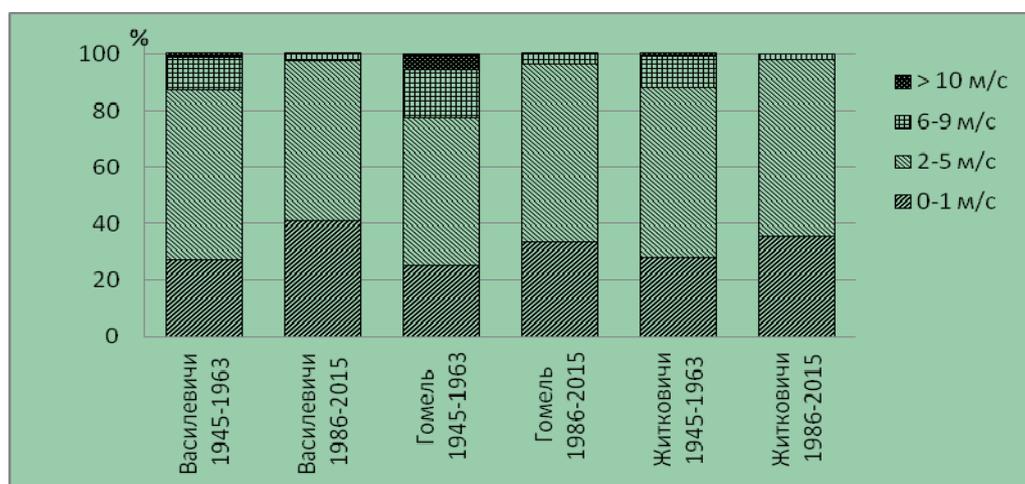


Метеостанции: А – Брагин, Б – Василевичи, В – Гомель  
**Рисунок 3. – Хронологический ход среднегодовых скоростей ветра и скользящие средние с различными периодами осреднения**

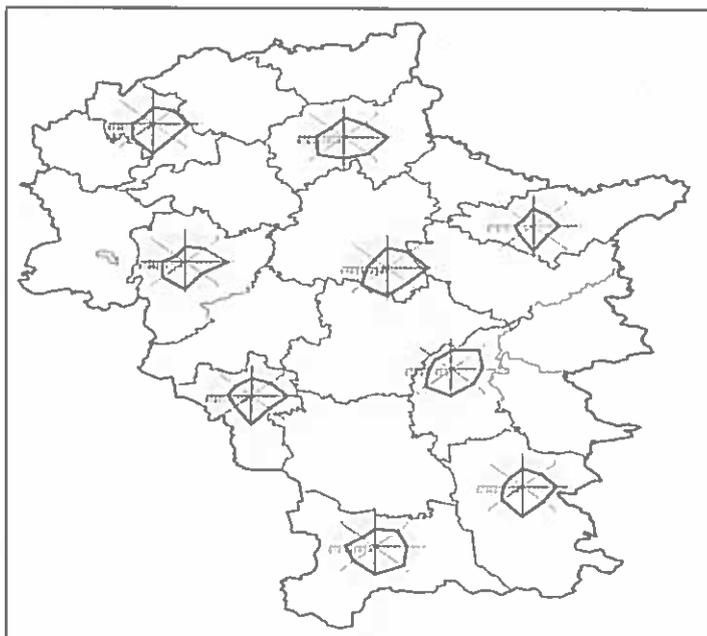
В ходе работы проанализирована повторяемость различных значений скорости ветра (таблица 5). Для Гомельской области наиболее характерны слабые ветры (2–5 м/с), их доля составляет 61,18 %. Штилевые условия и тихие ветры характерны в 34,61 % случаев. Доля умеренных ветров (6–9 м/с) незначительна (4,03 %), наиболее часто такие ветры отмечаются на метеостанциях Брагин и Октябрь. Доля сильных ветров (более 10 м/с) невелика, наибольшее число случаев зафиксировано на метеостанции Брагин.

Таблица 5. – Скорость ветра по градациям скоростей за период 1986–2015 гг., %

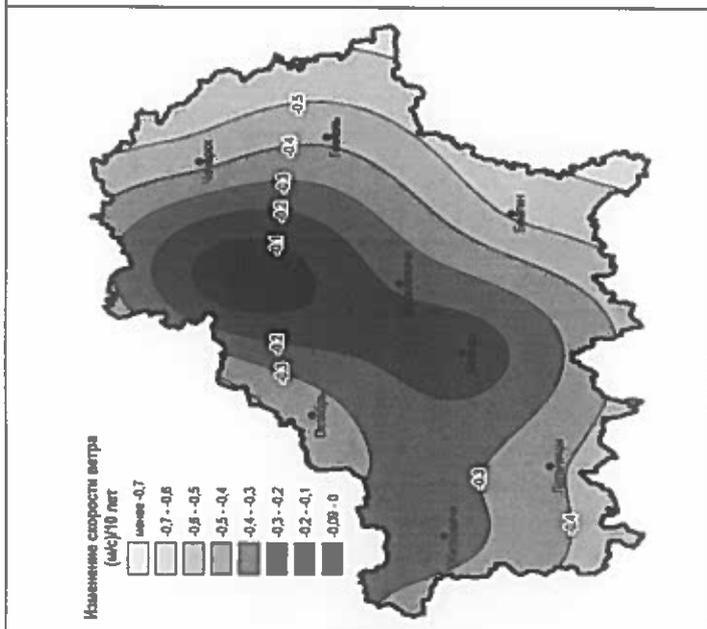
Метеостанция	Градация, м/с									
	0–1	2–3	4–5	6–7	8–9	10–11	12–13	14–15	16–17	18–20
Брагин	40,38	33,69	15,44	6,81	2,52	0,88	0,20	0,06	0,01	0,01
Василевичи	40,68	46,19	11,05	1,80	0,24	0,03	0	0	0	0
Гомель	33,26	45,50	17,65	3,01	0,51	0,05	0,01	0	0	0
Житковичи	35,45	47,29	15,35	1,81	0,10	0	0	0	0	0
Жлобин	32,07	51,46	14,39	1,90	0,17	0,02	0	0	0	0
Лельчицы	32,16	48,21	16,03	3,05	0,44	0,10	0,01	0	0	0
Мозырь	38,84	44,10	14,29	2,34	0,36	0,05	0,01	0	0	0
Октябрь	21,66	45,17	25,30	6,68	1,07	0,11	0,01	0	0	0
Чечерск	36,98	48,05	11,44	2,94	0,56	0,02	0	0	0	0



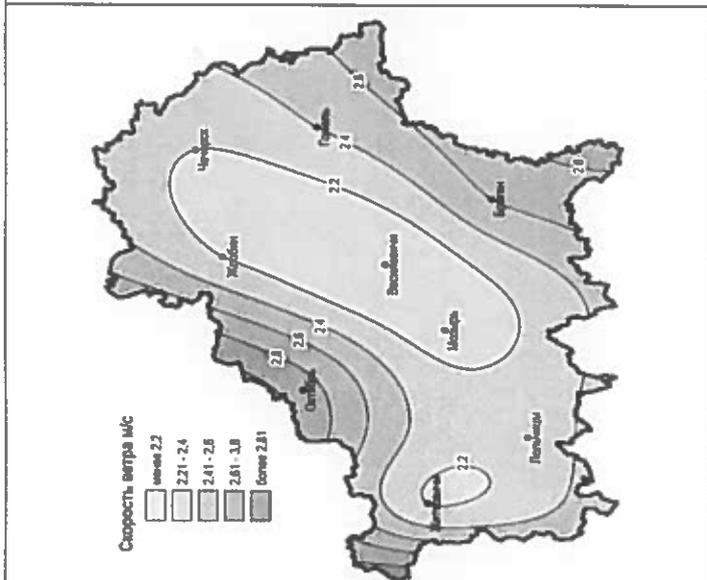
**Рисунок 4. – Распределение скорости ветра по градациям скоростей за различные периоды осреднения**



**Рисунок 7. – Повторяемость направлений ветра за период 1986–2015 гг.**



**Рисунок 6. – Средний градиент скорости ветра за период 1986–2015 гг.**



**Рисунок 5. – Среднегодовая скорость ветра за период 1986–2015 гг.**

Для метеорологических станций Василевичи, Гомель, Житковичи проведен анализ распределения скоростей ветра по грациям с данными, представленными в справочнике по климату СССР 1966 г. [7]. На всех исследуемых станциях отмечается увеличение доли штилей, тихих и слабых ветров при значительном снижении повторяемости умеренных и сильных ветров (рисунок 4). В связи с особенностями циркуляции атмосферы и под влиянием местных условий на территории Гомельской области в течение года преобладают ветра юго-западной четверти (46,11 %). Для этих направлений характерны наибольшие средние скорости ветра: для западного направления средняя многолетняя скорость ветра составляет 2,79 м/с, а для северо-западного – 2,63 м/с. Высокие показатели скорости ветра (2,66 м/с) также характерны для юго-восточного направления. В зимний период четко выражено преобладание ветров юго-западной четверти. Такие данные соответствуют ветровому режиму характерному для территории всей Беларуси, когда более высокое давление устанавливается на юге и юго-востоке республики, понижаясь к северу и северо-западу [6]. В летний период также преобладают западные ветры, но юго-западное направление сменяется северо-западным.

### Заклучение

В работе рассчитаны и проанализированы основные характеристика ветровых условий территории Гомельской области. Проведено сравнение характеристик скорости ветра за два периода – 1951–1985 гг. и 1986–2015 гг. Выявлена устойчивая тенденция снижения среднегодовых скоростей ветра на всей исследуемой территории. Годовой ход скорости ветра не претерпел существенных изменений, отмечено увеличение доли тихих и слабых ветров. Показано современное распределение розы ветров, что важно учитывать при расположении крупных промышленных предприятий и планировании застройки городов.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кижнер, Л. И. Изменение режима ветра в Томске в начале XXI в. / Л. И. Кижнер, Н. Ю. Серая // Тр. глав. геофиз. 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. – 593 с.
4. 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.
5. Логинов, В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. – Минск : ТетраСистемс, 2008. – 496 с.
6. Климат Беларуси / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск : Ин-т геол. наук АН Беларуси, 1996. – 234 с.
7. Справочник по климату СССР / отв. ред. Н. А. Малишевская. – Л. : Гидрометеоиздат, 1966. – Вып. 7, ч. III. – 156 с.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 10.01.2018

### *Volchak A.A., Grechanik A.V. Assessment of Changes in the Wind Regime of Gomel Region*

*The paper presents changes and a modern estimate of wind speed and direction in the Gomel region according to the meteorological stations Bragin, Vasilevichi, Gomel, Zhitkovichi, Zhlobin, Lelchitsy, Mozyr, Octyabr, Chechersk. The degree of homogeneity of the main characteristics of time series of wind speed is estimated.*