

УДК 551.582:551.583(476)

РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ ПО СТЕПЕНИ КЛИМАТИЧЕСКОЙ УЯЗВИМОСТИ

А. М. НЕБЫШИНЕЦ *, Ю. А. ГЛЕДКО **

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

В статье рассматривается проблема оценки климатической уязвимости территории Республики Беларусь в условиях современных климатических изменений. В качестве методической основы использована система безразмерных климатических индексов, учитывающая экстремальные и средние значения температуры воздуха, осадков и скорости ветра. Расчеты выполнены по данным 45 метеорологических станций за период 1989–2024 гг. Полученные значения индекса климатической уязвимости были использованы для классификации административных районов Беларуси по четырем степеням уязвимости: низкой, умеренно-низкой, средней и повышенной. Установлено, что наиболее уязвимые территории приурочены к отдельным северным, северо-восточным и юго-западным районам страны, тогда как центральные и часть юго-западных районов характеризуются более низкими значениями индекса. Результаты исследования позволили выполнить климатическое районирование территории Беларуси и могут быть использованы при разработке региональных мер адаптации к изменению климата.

<https://doi.org/10.46991/PYSUC.2026.60.2.329>

Keywords: climate vulnerability, climate change, air temperature, precipitation, wind speed, regionalization, Republic of Belarus.

Введение. Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью разработки методов оценки климатической уязвимости на уровне страны и отдельных регионов, а также выявления факторов, влияющих на уязвимость. Оценка климатической уязвимости помогает выявить наиболее уязвимые регионы и разработать меры по снижению ущерба от климатических изменений и повышению устойчивости как природных, так и социальных систем. За последние десятилетия ускоряющиеся климатические изменения [1–4] обострили необходимость целостного понимания уязвимости, адаптации и устойчивости, а также роста опасных явлений. В научной дискуссии эти понятия взаимосвязаны: несмотря на разнообразие определений устойчивости, консенсус указывает на три ключевых элемента: устойчивость к бедствиям, адаптивную способность/адаптацию и уязвимость. Ряд подходов трактует

* E-mail: arinanebyshinec@gmail.com

** E-mail: gledko74@mail.ru

устойчивость как часть уязвимости, влияющую на адаптивную способность [5], а также как компонент самой адаптивной способности [6]. Тем самым исследования, сосредоточенные на отдельных компонентах, сходятся к системному взгляду на их взаимозависимость.

В климатическом контексте уязвимость многофакторная и определяется как характеристиками воздействия (интенсивность, частота, длительность), так и свойствами системы [7]. Она изучается на стыке управления катастрофами, экологии, здравоохранения, бедности и развития, устойчивого землепользования и др.; аналитические работы стремятся локализовать – где, как и почему человеческие системы подвержены климатическим воздействиям [8]. Классическая трехмерная рамка уязвимости включает физико-биофизические опасности, социально-экономическую способность к восстановлению и внешнюю поддержку (союзы, международные соглашения) [9]. Соответственно, оценки уязвимости представляют собой ожидаемый ущерб для природных и социальных систем с учетом климатических сценариев и адаптационных реакций; остаточная уязвимость определяется тем, что остается после адаптации. При этом учитываются свойства системы, тип и сила стрессоров, причины.

Формирование концепции уязвимости происходило на стыке географии, климатологии и социально-экономических исследований. Термин, пришедший из оценки природных опасностей, к концу XX в. укрепился в климатической повестке. Обобщающие обзоры подтверждают эту эволюцию. Так, систематизируются определения, вводится типология уязвимости, адаптация разделяется на кратко- и долгосрочную и иллюстрируется связка понятий. Региональные работы развивают методики и индикаторы [10]. Локальные и отраслевые исследования конкретизируют подходы. Оценка уязвимости сочетает длинные метеоряды и качественные методы, выявляя зависимость домохозяйств от сельского хозяйства, дефицита ресурсов. В лесном секторе предложена комплексная методика с прогнозными оценками по пяти группам рисков с агрегированными индикаторами, выделяющая наиболее уязвимые регионы и задающая основу для адаптационного планирования [11]. Метод безразмерных климатических индексов показывает, как метеопараметры формируют интегральный индекс уязвимости в широтном разрезе и служат опорой для отраслевого и инфраструктурного проектирования [12]. Комплексные оценки для городов и агросектора включают климатическое моделирование, анализ уязвимых групп и гендерную перспективу, увязывая результаты с практическими рекомендациями и трансграничным управлением водными ресурсами [13]. Методологические работы по оценке природно-климатических рисков уточняют систему критериев и индикаторов и предлагают универсальные инструменты сопоставимости регионов, отраслей и проектов [14]. Пример локальной оценки на гидроузле демонстрирует восьмиэтапную процедуру (климатическое моделирование, социально-экономическая чувствительность, адаптация), где акцент сделан на дефиците воды и деградации земель [15].

В Беларуси исследования начались с анализа трендов температуры и экстремальных явлений для агросектора, затем расширились на метеопоказатели, биоразнообразие и сценарное моделирование [16, 17]. Однако

интегральные оценки уязвимости развиты недостаточно. Ограничения включают фрагментарность (слабая стыковка природных и социальных факторов), недостаток пространственной детализации (район/локальные уровни), применение ГИС без калибровки индексов и дефицит междисциплинарности. Национальные и отраслевые работы формируют задел: рекомендации для энергетики указывают на уязвимость сетевой инфраструктуры и приоритет ВИЭ и модернизации ЛЭП [18]; система индикаторов для уязвимости почв агроландшафтов акцентируется на агрогидрологических константах и картографировании на районном уровне (Яцухно, Бачила, 2022); транспортная монография предлагает методологию охвата всего жизненного цикла инфраструктуры и интеграцию адаптации в стратегическое планирование [19]. Национальный доклад фиксирует усиление экстремальных явлений и уязвимость сельского и лесного хозяйства и здравоохранения, предлагая меры адаптации и межсекторную интеграцию [20]. Региональная оценка безразмерных индексов для Беларуси (1948–2020 гг.) показывает рост уязвимости на 23–30% с ведущим вкладом интенсификации осадков при меньшей динамике температур и снижении ветровых экстремумов [21].

Проблема климатической уязвимости активно исследуется на международном уровне. Существуют различные модели и индексы, предназначенные для оценки уязвимости и рисков, вызванных изменениями климата, и разработки на этой основе мероприятий по адаптации. На глобальном уровне имеются данные и методики, которые позволяют проводить оценку уязвимости на уровне стран и регионов. Однако в контексте Беларуси подобные исследования не были проведены в достаточной степени, особенно с учетом локальных климатических особенностей и факторов, влияющих на устойчивость страны к изменениям. Исследования климатической уязвимости в Беларуси требуют дальнейшего развития, что подтверждается необходимостью адаптации существующих методов к специфике страны и ее регионов.

В настоящем исследовании под климатической уязвимостью территории Беларуси понимается сравнительная степень подверженности территории неблагоприятным климатическим воздействиям, количественно выраженная через экстремальность и изменчивость температурного режима, режима осадков и ветрового режима по данным многолетних метеорологических наблюдений.

Цель исследования – комплексный анализ климатической уязвимости регионов Беларуси с использованием научных методов оценки и выявление факторов, определяющих ее территориальные различия.

Материалы и методы исследования. Численные расчеты и базовая статистическая обработка исходных данных выполнялись автором с помощью табличного процессора Microsoft Excel. Применение Excel позволило упорядочить данные, задать необходимые формульные зависимости и подготовить массив к последующей картографической визуализации. Для пространственной интерполяции точечных значений и формирования непрерывных полей был использован метод сплайн-интерполяции (Spline), реализованный в геоинформационном программном комплексе ArcGIS.

Для оценки климатической уязвимости регионов Беларуси в данном исследовании применяется методика безразмерных климатических индексов [12], основанная на объединении трех ключевых климатических показателей: температуры воздуха, количества осадков и скорости ветра. Выбор этой методики обусловлен ее простотой, воспроизводимостью и опорой на физико-географические параметры, что особенно важно в условиях хорошей обеспеченности Беларуси данными метеонаблюдений. Это делает ее удобной для анализа пространственных различий уязвимости на региональном уровне.

Расчет климатической уязвимости выполняется на основе перехода к безразмерным климатическим индексам. При этом важно учитывать, что при вычислении безразмерного индекса температуры могут возникать затруднения в случаях, когда средние значения температуры близки к нулю. Полная формула климатической уязвимости (V_i) дополнительно учитывает показатели осадков и ветра:

$$V_i = \frac{|T_{\min}| + |T_{\max}|}{|T_{\min \text{ ср.}}| + |T_{\max \text{ ср.}}|} + \frac{P_{\text{экстр.}}}{P_{\text{ср.}}} + \frac{F_{\text{экстр.}}}{F_{\text{ср.}}},$$

где $T_{\max}$ – максимальное значение из абсолютных максимумов температуры воздуха; $T_{\max \text{ ср.}}$ – среднее годовое значение из абсолютных максимумов температуры воздуха; $T_{\min}$ – минимальное значение из абсолютных минимумов температуры воздуха; $T_{\min \text{ ср.}}$ – среднее годовое значение из абсолютных минимумов температуры воздуха; $P_{\text{ср.}}$ – средняя сумма осадков за день с осадками (влажный день); $P_{\text{экстр.}}$ – максимальная сумма осадков за год; $F_{\text{ср.}}$ – средняя годовая скорость ветра; $F_{\text{экстр.}}$ – годовой максимум порывов скорости ветра.

Как видно, формула состоит из суммы безразмерных показателей и представляет, соответственно, безразмерное число, которое предлагается считать индексом климатической уязвимости (ИКУ).



Рис. 1. Расположение метеорологических станций.

В настоящем исследовании методика будет адаптирована для расчета ИКУ на основе данных метеорологических наблюдений 45 станций сети Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды [22]. Схема расположения отобранных метеостанций показана на рис. 1.

Таблица 1

Параметры для расчета климатической уязвимости

№	Станция	Экстремумы за год				Средние за год			
		$T_{\min}$	$T_{\max}$	P	F	$T_{\min}$	$T_{\max}$	P	F
1	Василевичи	–34,2	37,6	67,6	25,0	3,4	12,6	3,7	1,9
2	Верхнедвинск	–31,4	34,7	101,8	27,0	2,8	10,7	3,2	2,8
3	Волковск	–29,0	35,3	59,7	27,0	4,1	12,2	3,1	3,1
4	Воложин	–28,4	35,5	94,7	28,0	3,9	11,0	3,8	2,6
5	Витебск	–31,6	37,8	71,4	28,0	3,2	10,8	3,4	2,3
6	Вилейка	–32,7	36,0	66,9	25,0	3,3	11,3	3,2	1,8
7	Высокое	–28,2	36,5	68,8	24,0	4,2	12,9	2,9	2,5
8	Столбцы	–30,5	36,1	71,9	26,0	3,5	11,8	3,3	1,8
9	Славгород	–31,7	37,8	67,0	30,0	3,3	11,3	3,4	2,7
10	Слуцк	–32,0	36,1	98,1	31,0	3,3	11,9	3,2	3,2
11	Новогрудок	–29,4	34,2	81,5	29,0	3,8	10,9	3,7	3,5
12	Костюковичи	–33,1	38,8	79,2	30,0	2,7	11,3	3,5	3,3
13	Кличев	–36,3	37,7	71,4	31,0	2,6	11,7	3,6	2,7
14	М.Горка	–31,7	36,5	66,8	28,0	3,4	11,7	3,3	2,7
15	Могилев	–31,5	36,8	90,2	29,0	2,7	11,0	3,1	3,7
16	Мозырь	–34,1	36,4	91,0	23,0	4,1	12,5	3,6	2,0
17	Минск	–28,6	35,8	77,5	22,0	3,7	11,4	3,2	2,1
18	Октябрь	–32,6	37,9	93,0	28,0	3,4	12,4	3,3	2,8
19	Орша	–33,1	38,2	116,7	25,0	2,6	10,7	3,2	2,9
20	Ошмяны	–30,6	34,2	100,7	30,0	3,2	11,0	3,0	3,4
21	Барановичи	–31,3	35,7	107,9	27,0	3,8	11,9	3,6	3,0
22	Березино	–33,8	36,2	83,0	24,0	3,2	11,8	3,1	2,3
23	Борисов	–30,1	35,6	69,2	24,0	3,3	11,3	3,4	2,5
24	Бобруйск	–33,0	38,0	67,2	28,0	2,7	11,9	3,4	2,9
25	Брагин	–34,3	38,1	84,8	28,0	3,1	12,4	3,4	2,5
26	Брест	–26,2	36,7	81,1	24,0	5,0	13,2	3,3	2,5
27	Березинский зап.	–33,2	35,3	84,4	35,0	2,4	11,1	3,4	2,2
28	Ганцевичи	–30,9	35,3	105,1	32,0	3,3	12,5	3,2	2,4
29	Гомель	–30,8	38,9	84,9	29,0	4,3	12,4	3,4	2,2
30	Горки	–33,3	38,7	85,1	32,0	2,3	10,5	3,1	3,6
31	Гродно	–29,4	36,2	96,0	27,0	4,0	12,0	2,6	3,6
32	Докшицы	–34,8	35,7	75,6	28,0	2,3	10,7	3,1	3,4
33	Житковичи	–29,5	37,9	114,7	24,0	3,8	12,9	3,8	2,1
34	Жлобин	–30,2	37,8	72,5	27,0	3,9	12,2	3,4	2,1
35	Ивацевичи	–30,6	35,7	102,8	27,0	3,9	12,7	3,1	2,1
36	Лида	–29,9	35,3	76,5	25,0	3,9	12,0	3,2	2,5
37	Лынтупы	–34,0	34,8	67,5	25,0	2,5	10,8	3,3	2,2
38	Полесская	–34,1	36,5	86,3	32,0	2,8	12,9	3,2	3,5
39	Полоцк	–31,5	35,8	93,1	28,0	2,8	11,1	3,3	2,2
40	Пружаны	–31,6	36,0	62,0	26,0	3,8	12,6	3,0	3,4
41	Пинск	–28,1	36,2	95,5	29,0	4,5	12,8	3,6	2,2
42	Шарковщина	–32,4	35,6	87,7	28,0	3,0	11,1	3,2	2,4
43	Езерище	–34,8	36,2	112,4	31,0	2,1	10,2	3,1	2,8
44	Сенно	–30,1	37,4	52,5	28,0	3,3	10,6	3,5	2,1
45	Нарочь	–30,9	34,5	63,8	20,0	3,1	11,3	3,5	1,2

Временным интервалом для проведения анализа выбран период 1989–2024 гг., который характеризуется устойчивой тенденцией к потеплению климата и, таким образом, является репрезентативным для оценки современных климатических изменений. Этот промежуток включает как начальные этапы усиления глобального изменения климата, так и наиболее выраженные его проявления в последние годы. В рамках указанного периода были определены экстремальные значения температуры воздуха, количества осадков и скорости ветра, а также их средние многолетние значения. Расчетные климатические параметры приведены в табл. 1.

Результаты исследования и их обсуждение. Результаты анализа изменения отдельных климатических показателей (температуры воздуха, количества осадков и скорости ветра) показывают, насколько изменились экстремальные показатели климата по отношению к средним значениям, а также результаты расчета ИКУ для каждой из 45 метеостанций приведены в табл. 2.

Наибольшую межстанционную вариабельность в структуре ИКУ (V_i) демонстрирует осадочный компонент: его значения варьируют от 15,0 (Сенно) до 36,9 (Гродно). Ветровой компонент изменяется в более узком диапазоне от 7,5 (Гродно) до 16,7 (Нарочь), а температурный компонент характеризуется наименьшей амплитудой различий между станциями: максимальное значение отмечено в Езерище (5,8), минимальное – в Бресте (3,4). Диапазон значений ИКУ варьируется в пределах от 32,0 (Волковыск) до 53,3 (Езерище), при этом среднее значение по совокупности станций составляет 40,8.

Более детальный анализ показал, что высокие значения ИКУ на удаленных друг от друга станциях формируются за счет разных сочетаний компонентных индексов. Так, для станции Езерище итоговое значение $V_i = 53,3$ определяется сочетанием максимального температурного индекса (5,8) и одного из наиболее высоких осадочных индексов (36,3) при умеренном ветровом компоненте (11,2). Для станции Ивацевичи $V_i = 50,3$ формируется прежде всего за счет высокого осадочного (33,2) и ветрового (13,2) компонентов при сравнительно умеренном температурном индексе (4,0). Аналогично станция Ганцевичи ($V_i = 50,2$) характеризуется высоким осадочным (32,8) и ветровым (13,2) компонентами. Это свидетельствует о том, что территориальные различия ИКУ в Беларуси определяются не широтным положением, а локальными сочетаниями экстремальности режима осадков, температурных экстремумов и ветрового режима. Контрасты между близко расположенными станциями также объясняются различной структурой индекса, например: Ивацевичи и Пружаны имеют близкий температурный компонент (4,0 и 4,1), но резко различаются по осадочному (33,2 против 20,7) и ветровому (13,2 против 7,6) компонентам, что и приводит к значительной разнице итогового ИКУ.

Анализируя пространственное распределение ИКУ по территории Беларуси за рассматриваемый период, можно сделать вывод, что его значения изменяются от менее 35 до более 50, что позволяет выделить территории с различной степенью климатической уязвимости. Максимальные значения (свыше 50) отмечаются на северо-востоке (Езерище, Орша) и юго-западе (Ивацевичи, Ганцевичи) страны, что свидетельствует о повышенной частоте

экстремальных погодных условий в этих районах. Минимальные значения (менее 35) зафиксированы на юго-западе (Пружаны, Волковыск) и в центральной части (Борисов, Бобруйск, Сенно), где влияние климатических экстремумов выражено слабее (рис. 2).

Таблица 2

Индексы экстремальности и индекс климатической уязвимости

№	Метеостанция	Индексы экстремальности			Индекс климатической уязвимости
		температура	осадки	ветер	
1	Василевичи	4,5	18,3	13,0	35,7
2	Верхнедвинск	4,9	31,8	9,8	46,5
3	Волковыск	3,9	19,3	8,8	32,0
4	Воложин	4,3	24,9	10,8	40,0
5	Витебск	4,9	21,0	12,3	38,2
6	Вилейка	4,7	20,9	13,8	39,4
7	Высокое	3,8	23,7	9,5	37,0
8	Столбцы	4,4	21,8	14,1	40,3
9	Славгород	4,8	19,7	11,1	35,5
10	Слуцк	4,5	30,7	9,6	44,7
11	Новогрудок	4,4	22,0	8,3	34,7
12	Костюковичи	5,1	22,6	9,0	36,8
13	Кличев	5,2	19,8	11,4	36,4
14	М. Горка	4,5	20,2	10,5	35,2
15	Могилев	5,0	29,1	7,8	41,9
16	Мозырь	4,3	25,3	11,7	41,2
17	Минск	4,3	24,2	10,7	39,2
18	Октябрь	4,4	28,2	10,1	42,7
19	Орша	5,4	36,5	8,5	50,4
20	Ошмяны	4,6	33,6	8,7	46,9
21	Барановичи	4,3	30,0	8,9	43,1
22	Березино	4,7	26,8	10,6	42,1
23	Борисов	4,5	20,4	9,8	34,6
24	Бобруйск	4,9	19,8	9,7	34,4
25	Брагин	4,7	24,9	11,2	40,8
26	Брест	3,4	24,6	9,8	37,8
27	Березинский зап.	5,1	24,8	15,7	45,6
28	Ганцевичи	4,2	32,8	13,2	50,2
29	Гомель	4,2	25,0	12,9	42,1
30	Горки	5,6	27,5	9,0	42,1
31	Гродно	4,1	36,9	7,5	48,5
32	Докшицы	5,5	24,4	8,3	38,2
33	Житковичи	4,0	30,2	11,4	45,6
34	Жлобин	4,2	21,3	12,7	38,3
35	Ивацевичи	4,0	33,2	13,2	50,3
36	Лида	4,1	23,9	10,0	38,1
37	Лынтупы	5,2	20,5	11,4	37,0
38	Полесская	4,5	27,0	9,1	40,6
39	Полоцк	4,8	28,2	12,6	45,6
40	Пружаны	4,1	20,7	7,6	32,4
41	Пинск	3,7	26,5	12,9	43,2
42	Шарковщина	4,8	27,4	11,5	43,8
43	Езерище	5,8	36,3	11,2	53,3
44	Сенно	4,9	15,0	13,3	33,2
45	Нарочь	4,6	18,2	16,7	39,5

Территориальная неоднородность климатической уязвимости на территории Беларуси прослеживается достаточно четко. На ее формирование могут влиять как природно-климатические особенности, так и различия в конфигурации наблюдательной сети и плотности метеостанций. Можно также утверждать, что высокие значения ИКУ в наибольшей степени обусловлены особенностями режима выпадения осадков и увеличением ростом экстремальных температур, при этом изменения среднесуточных сумм осадков и средних температур остаются несущественными.

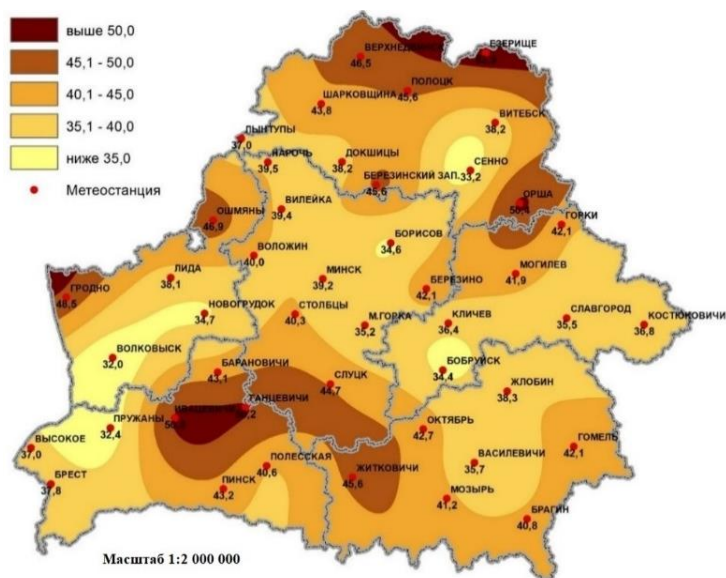


Рис. 2. Распределение индекса климатической уязвимости по территории Беларуси.

Опираясь на рассчитанные показатели уязвимости, была разработана классификация ИКУ для административных районов Беларуси, включающая четыре степени: от “низкой уязвимости” до “повышенной уязвимости” (табл. 3). Повышенная уязвимость характерна для части северных, северо-восточных и юго-западных районов страны. Средняя степень уязвимости охватывает территории, где климатические воздействия проявляются достаточно регулярно, но уступают по интенсивности наиболее уязвимым районам. Умеренно-низкая уязвимость занимает значительные пространства центральной и южной части Беларуси. Низкая климатическая уязвимость характерна для отдельных районов юго-запада и центра страны.

Таблица 3

Классификация индекса климатической уязвимости

Диапазон значений	Степень уязвимости
45,0 и выше	повышенная
40,1–45,0	средняя
35,1–40,0	умеренно-низкая
35,0 и ниже	низкая

Основанием для классификации служит суммарное безразмерное значение индекса, полученное из отдельных безразмерных показателей. Выбор границ классификации ИКУ обусловлен фактическим диапазоном полученных расчетных значений, который по совокупности метеостанций изменяется от 32,0 до 53,3 при среднем значении 40,8. В связи с этим пороговые значения были заданы таким образом, чтобы отразить основные уровни отклонения территорий от среднего состояния и обеспечить сопоставимость административных районов по степени климатической нагрузки. Значения 35,0 и ниже отнесены к низкой уязвимости, поскольку они соответствуют территориям с минимальным проявлением экстремальности климатических параметров. Интервал 35,1–40,0 характеризует умеренно-низкую уязвимость, то есть территории, близкие к среднему уровню, но не достигающие его. Диапазон 40,1–45,0 отражает среднюю уязвимость, соответствующую значениям около и выше среднего уровня по совокупности наблюдений. Значения 45,0 и выше выделены в категорию повышенной уязвимости, поскольку они соответствуют территориям с наиболее выраженной климатической нагрузкой и концентрацией неблагоприятных климатических факторов.

Результаты расчета и классификация ИКУ по административным районам Республики Беларусь за период 1989–2024 гг. демонстрируют четкую северо-западную и северо-восточную концентрацию повышенных значений, а также выраженные южные и юго-западные зоны с пониженной уязвимостью. Подобное распределение может быть связано как с региональными особенностями климата, так и с географическим положением, характером рельефа и плотностью сети метеонаблюдений (рис. 3).



Рис. 3. Результаты расчетов индекса климатической уязвимости по административным районам Беларуси.

Повышенная уязвимость формируется в отдельных северных и юго-западных районах, а также локально в центральной части страны. На севере к ним относятся Верхнедвинский, Полоцкий, Миорский, Россонский и Городокский районы; на западе – Гродненский и Ошмянский; на юго-западе – Ивацевичский, Ганцевичский, Клецкий, Солигорский и Ляховичский; на востоке – Оршанский, Дубровенский и Шкловский районы. Для этих территорий характерно наибольшее количество экстремальных погодных явлений, что указывает на высокую климатическую нагрузку.

Область средней уязвимости охватывает значительную часть восточных, центральных и юго-восточных районов, включая отдельные территории Минской (Слутский, Воложинский), Гомельской (Мозырский, Октябрьский) и, частично, Могилевской (Горецкий, Бельничский) областей. Это говорит о регулярных, но менее интенсивных климатических воздействиях по сравнению с вышеописанными зонами.

Умеренно-низкая уязвимость занимает значительные пространства в южной и центральной частях страны, где экстремальные метеоявления фиксируются реже.

Низкая уязвимость характерна для ряда юго-западных районов: Волковысского, Свислочского, Зельвенского и Пружанского, что свидетельствует о наиболее стабильных и благоприятных метеоусловиях среди всей территории страны.

Таблица 4

Характеристика зон климатической уязвимости

Зона	Степень уязвимости	Характеристика зоны
Северная	Повышенная и средняя	Для данной зоны характерны высокие значения ИКУ, что обусловлено значительным вкладом экстремальных метеорологических явлений, в первую очередь интенсивных осадков и температурных аномалий. Отмечается высокая межгодовая изменчивость температурных экстремумов и увеличение частоты опасных явлений, таких как сильные ливни и дожди, жара. Рельеф формирует неблагоприятные условия для ослабления климатической нагрузки.
Центральная	Умеренная-низкая	Данная зона характеризуется наиболее умеренными и низкими значениями ИКУ. Это связано с более сглаженным температурным режимом и режимом увлажнения, относительной стабильностью ветрового режима и отсутствием выраженной концентрации ОЯ. Для данной зоны характерны более умеренные значения осадочного и ветрового компонентов индекса, а климатические параметры отличаются наименьшей изменчивости среди всех зон.
Южная	Средняя, местами повышенная	В данной зоне наблюдается высокая повторяемость ОЯ, прежде всего сильной жары, сильных дождей и ливней, а также проявлением засушливых периодов. Вместе с тем по совокупности интегральных климатических характеристик данная зона не является однородно наиболее уязвимой, поскольку итоговое зонирование учитывает не только частоту ОЯ, но и значения температурного, осадочного и ветрового компонентов индекса. Низкий рельеф способствует накоплению влаги, что при сочетании с интенсивными дождями усиливает риск подтоплений и заболачивания.

В результате проведенного анализа была выполнена территориальная дифференциация климатической уязвимости по территории Республики Беларусь. Выделение зон осуществлялось на основе совместного анализа рассчитанных значений интегрального ИКУ и результатов ранее выполненного исследования по территориальной дифференциации опасных метеорологических явлений (ОЯ) [23]. В связи с этим выделенные зоны отражают не только пространственное распределение безразмерного индекса, но и особенности повторяемости наиболее значимых ОЯ. Каждая из зон характеризуется собственным сочетанием климатических параметров и частоты экстремальных явлений, определяющих чувствительность территории к неблагоприятным климатическим воздействиям. Описание выделенных зон приведено в табл. 4.

На основании обобщенных характеристик климатических параметров рассчитанных значений безразмерного индекса и ОЯ для территории Беларуси была осуществлена типизация по зонам и степени климатической уязвимости. С учетом пространственного распределения интегрального ИКУ, а также частоты ОЯ была построена картосхема зонирования (рис. 4), отражающая региональные различия климатической уязвимости. Южные районы характеризуются более высокой частотой ОЯ, тогда как северные районы выделяются как более уязвимые по совокупности интегральных климатических характеристик, а центральные – как наименее уязвимые вследствие более сглаженного режима климатических параметров. Данная карта отражает территориальное распределение зон с различной степенью климатической уязвимости и служит наглядной иллюстрацией пространственной неоднородности воздействия климатических факторов на региональном уровне.



Рис. 4. Картосхема зон климатической уязвимости территории Беларуси.

Полученные результаты имеют прикладное значение для территориального планирования, природопользования и разработки адаптационных мер к изменениям климата. В сфере территориального планирования картосхемы климатической уязвимости могут использоваться для выделения районов, требующих приоритетного учета климатических рисков при размещении объектов инфраструктуры, развитии населенных пунктов, планировании транспортных коммуникаций и инженерной защиты территорий. Для районов с повышенной уязвимостью целесообразно предусматривать более детальную оценку рисков, связанных с экстремальными осадками, температурными аномалиями, сильным ветром, подтоплениями и нарушением устойчивости инфраструктурных систем.

В сфере природопользования результаты исследования могут применяться при планировании сельскохозяйственного производства, лесохозяйственных мероприятий, водопользования и охраны природных комплексов. Районы с повышенной и средней уязвимостью требуют более внимательного учета климатических факторов при выборе агротехнических мероприятий, оценке рисков переувлажнения или засушливых периодов, планировании мелиоративных работ, защите лесных насаждений и сохранении экосистем, чувствительных к изменению температурного режима и режима увлажнения.

При разработке адаптационных мер результаты районирования позволяют определить территории, где необходимы первоочередные мероприятия по снижению климатических рисков. К таким мерам могут относиться совершенствование систем мониторинга опасных метеорологических явлений, развитие локальных планов адаптации, повышение устойчивости инженерной и транспортной инфраструктуры, корректировка градостроительных решений, внедрение водорегулирующих мероприятий, а также информирование местных органов управления и населения о наиболее вероятных климатических угрозах. Предложенная классификация может рассматриваться как инструмент предварительной пространственной диагностики, позволяющий определить приоритетные территории для дальнейшего детального анализа и управленческого реагирования.

Заключение. Проведенное исследование позволило оценить территориальные различия климатической уязвимости Республики Беларусь на основе многолетних метеорологических наблюдений за 1989–2024 гг. Использование методики безразмерных климатических индексов дало возможность объединить в единой оценке температурный, осадочный и ветровой компоненты, а также сопоставить между собой различные регионы страны по степени их подверженности неблагоприятным климатическим воздействиям.

Результаты расчетов показали, что климатическая уязвимость на территории Беларуси распределена неравномерно. Наибольшие значения ИКУ отмечаются в отдельных северных, северо-восточных и юго-западных районах, где наблюдается более выраженное влияние экстремальных климатических факторов. Более низкая уязвимость характерна для части центральных и юго-западных районов, отличающихся относительно более стабильными климатическими условиями. При этом установлено, что формирование высоких значений

индекса связано не с одним фактором, а с различными сочетаниями экстремальности температурного режима, режима увлажнения и ветровых характеристик.

На основе полученных данных была выполнена классификация административных районов Беларуси по степени климатической уязвимости и построена картосхема зонирования. Выделенные зоны отражают пространственную неоднородность климатических воздействий и позволяют более наглядно определить территории, требующие повышенного внимания при планировании адаптационных мероприятий к изменению климата, и могут служить основой для разработки мер по снижению климатических рисков на национальном и региональном уровнях.

Вместе с тем использованная методика имеет ряд ограничений. ИКУ в настоящем исследовании основан преимущественно на метеорологических параметрах и отражает физико-климатическую составляющую уязвимости территории. В расчетах не учитывались социально-экономические характеристики районов, плотность населения, структура землепользования, состояние инфраструктуры, уровень адаптационного потенциала и отраслевые особенности хозяйственного развития. Кроме того, пространственная детализация результатов зависит от плотности и размещения сети метеорологических станций, а интерполяция точечных данных может сглаживать локальные особенности климатических условий.

Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением системы показателей за счет включения социально-экономических, демографических, инфраструктурных и ландшафтных факторов, а также с проведением оценки уязвимости для отдельных отраслей: сельского хозяйства, лесного хозяйства, водного хозяйства, транспорта и городского развития. Дополнительным направлением может стать сопоставление полученных результатов с данными климатического моделирования и сценариями будущих изменений климата, что позволит перейти от оценки современной уязвимости к прогнозированию возможных климатических рисков и разработки более точных мер адаптации.

Поступила 01.06.2026

Получена с рецензии 18.06.2026

Утверждена 26.08.2026

ЛИТЕРАТУРА

1. Севастьянов В.В., Самбуу А.Д., Маргарян В.Г. Современное изменение климата в горных странах: (на примере Алтае-Саянской горной страны и Кавказа). *Ученые записки ЕГУ. Геол. и географ. науки* **59** (2025), 531–542.
<https://doi.org/10.46991/PYSUC.2025.59.2.531>
2. Маргарян В.Г. Изменчивость зимних экстремальных низких температур приземного слоя воздуха в бассейне озера Севан (Армения). *Устойчивое развитие горных территорий* **12** (2020), 523–531.
<https://doi.org/10.21177/1998-4502-2020-12-4-523-531>
3. Margaryan V.G. Assessment of Climatic Trend of Air Temperature at the Earth Surface in the Context of Stable Development (Case of Gyumri City). *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Geology. Geography. Ecology* **50** (2019), 125–135.

4. Margaryan V.G., Tsibulskii G., Raevich K. About the Features of the Time Course of the Average Annual Air Temperature in the Territory of the Debed River Basin (Armenia). *Regional Problems of Earth Remote Sensing (RPERS 2020). E3S Web of Conferences* **223** (2020), 03009.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022303009>
5. Klein R.J., Nicholls R.J., Thomalla F. Resilience to Natural Hazards: How Useful is This Concept. *Environ. Hazards* **5** (2003), 35–45.
<https://doi.org/10.1016/j.hazards.2004.02.001>
6. Adger W.N. Vulnerability. *Glob. Environ. Change* **16** (2006), 268–281.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>
7. Cuevas S. Climate Change, Vulnerability, and Risk Linkages. *Int. J. Clim. Chang. Strateg. Manag.* **3** (2011), 29–60.
<https://doi.org/10.1108/17568691111107934>
8. Ford J.D., Pearce T., et al. Vulnerability and its Discontents: The Past, Present, and Future of Climate Change Vulnerability Research. *Climatic Change* **151** (2018), 189–203.
<https://doi.org/10.1007/s10584-018-2304-1>
9. Moss R.H., Brenkert A.L., Malone E.L. Vulnerability to Climate Change: A Quantitative Approach. Pacific Northwest National Laboratory (PNNL-SA-33642); Pacific Northwest National Laboratory: Richland, WA, USA (2001), 155–167.
10. Гребнев В.Н. Подходы по оценке региональной уязвимости и климатических рисков стран Центральной Азии. РЭЦЦА, Бишкек (2023), 22.
11. Недбаев И.С., Семенова Е.И., Сорока А.О. Оценка уязвимости лесов к климатическим изменениям. *Труды ВНИИЛМ* **3** (2023), 98–114.
12. Оганесян В.В. Методика расчета климатической уязвимости территории на основе безразмерных климатических индексов. *Труды Гидрометцентра России* **366** (2017), 158–165.
13. Виллнер С., Буркандт Р. и др. Риски, связанные с изменением климата, для водного и сельского хозяйства в Туркменистане. Ашхабад, ПРООН (2024), 127.
14. Яковлева Е.Н., Яшалова Н.Н. и др. Методические подходы к оценке природно-климатических рисков в целях устойчивого развития государства. *Уч. записки РГГМУ* **52** (2018), 120–137.
15. *Оценка рисков и уязвимости к изменениям климата на локальном уровне: Туямуонский гидроузел – Узбекистан*. Туркменистан, Душанбе, РЭЦЦА (2021), 18.
16. Логинов В.Ф., Лысенко С.А., Мельник В.И. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования. Минск, Энциклопедикс (2020), 264.
17. Подгорная Е.В., Мельник В.И., Комаровская Е.В. Особенности изменения климата на территории Республики Беларусь за последние десятилетия. *Тр. гидрометеорологического научно-исследовательского центра Росгидромета* **358** (2015), 112–120.
18. Клевещ Н.Н. Разработка рекомендаций по адаптации к изменению климата для энергетической отрасли экономики (Витебская, Могилевская и Гомельская области). Развитие географических исследований в Беларуси в XX–XXI вв. *Материалы Междунар. науч.-практ. оч.-заоч. конф., посвящ. 100-летию Белорус. гос. ун-та, 60-летию каф. физ. географии и образоват. технологий, 100-летию со дня рождения проф. О.Ф. Якушко*. Минск, БГУ (2021), 277–282.
19. Капский Д.В., Богданович С.В., Буртыль Ю.В. Методология оценки воздействия изменения климата, уязвимости и климатических рисков в транспортной системе Республики Беларусь. Минск, БНТУ (2022), 256.
20. Бертош Е., Русаков Д., Лукашевич Т. Национальный доклад: Уязвимость и адаптация к изменению климата в Беларуси. Форум восточных стран по климатическим изменениям. Минск, ПДУП “Типография Федерации профсоюзов Беларуси” (2014), 45.
21. Данилович И.С. Оценка климатической уязвимости территории Беларуси на основе безразмерных климатических индексов. Актуальные вопросы устойчивого природопользования: научно-методическое обеспечение и практическое решение. *Матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 60-летию НИЛ экологии ландшафтов факультета географии и геоинформатики БГУ*. Минск, БГУ (2022), 29–32.
22. Государственный климатический кадастр: материалы наблюдений Государственной сети гидрометеорологических наблюдений Республики Беларусь. № свид-ва 0870100021. Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды. ГКК. (1989–2024 гг.).
23. Гледко Ю.А., Небышинец А.М. Территориальная дифференциация частоты проявления опасных метеорологических явлений на территории Беларуси. *География* **2** (2026), 12–19.

Ա. Մ. ՆԵԲՅԻՇՆԵՏ, ՅՈՒ. Ա. ՀԼԵԴԿՈ

ԲԵԼԱՐՈՒՍԻ ՏԱՐԱԾՔԻ ՏԱՐԱԾԱՇՐՋԱՆԱՅԻՆԱՑՈՒՄԸ
ԿԼԻՄԱՅԱԿԱՆ ԽՈՑԵԼԻՈՒԹՅԱՆ ԱՍՏԻՃԱՆՈՎ

Ամփոփում

Այս հոդվածում դիտարկվում է Բելառուսի Հանրապետության կլիմայական խոցելիության գնահատման խնդիրը կլիմայի ներկայիս փոփոխության համատեքստում: Որպես մեթոդաբանական հիմք օգտագործվել է անչափ կլիմայական ինդեքսների համակարգ, որը հաշվի է առնում օդի ջերմաստիճանի, տեղումների և քամու արագության ծայրահեղ և միջին արժեքները: Հաշվարկները կատարվել են 1989–2024 թվականների 45 օդերևութաբանական կայանների տվյալների հիման վրա: Արդյունքում ստացված կլիմայական խոցելիության ինդեքսի արժեքները օգտագործվել են Բելառուսի վարչական շրջանները դասակարգելու համար՝ ըստ խոցելիության չորս աստիճանի՝ ցածր, չափավոր ցածր, միջին և բարձր: Պարզվել է, որ ամենախոցելի տարածքները սահմանափակվում են երկրի որոշակի հյուսիսային, հյուսիսարևելյան և հարավարևմտյան շրջաններով, մինչդեռ կենտրոնական և հարավարևմտյան շրջանների մի մասը բնութագրվում են ավելի ցածր ինդեքսային արժեքներով: Ուսումնասիրության արդյունքները հնարավորություն են տվել կատարել Բելառուսի տարածքի կլիմայական գոտիավորում և կարող են օգտագործվել կլիմայի փոփոխությանը տարածաշրջանային հարմարվողականության միջոցառումների մշակման գործում:

A. M. NEBYSHYNETS, Yu. A. HLEDKO

REGIONALIZATION OF THE TERRITORY OF BELARUS
BY THE DEGREE OF CLIMATE VULNERABILITY

Summary

This article examines the issue of assessing the climate vulnerability of the territory of the Republic of Belarus in the context of contemporary climate change. The methodological framework employed is a system of dimensionless climate indices that takes into account extreme and average values for air temperature, precipitation and wind speed. Calculations were performed using data from 45 meteorological stations for the period 1989–2024. The resulting values of the climate vulnerability index were used to classify the administrative regions of Belarus into four vulnerability degree: low, moderately low, medium and high. It was found that the most vulnerable areas are concentrated in certain Northern, North-Eastern and South-Western Regions of the country, whereas the Central and part of the South-Western Regions are characterised by lower index values. The results of the study have enabled the climatic zoning of the territory of Belarus and can be used in the development of regional measures for adaptation to climate change.