

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСА КЛИМАТИЧЕСКОЙ УЯЗВИМОСТИ ПО ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

**А. М. Небышинец**

*Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь,  
arinanebyshinec@gmail.com*

Представлена оценка, расчет и классификация климатической уязвимости по метеостанциям Беларуси на основе безразмерных индексов, включающих средние и экстремальные показатели температуры воздуха, осадков и ветра. Рассмотрено распределение индексов климатической уязвимости по территории Республики Беларусь.

**Ключевые слова:** климат; климатическая уязвимость; климатические индексы; температура; осадки; ветер.

**Введение.** Республика Беларусь располагает значительными природными и социально-экономическими ресурсами, что делает возможным ее устойчивое развитие. Вопросы устойчивого развития в последнее время приобретают особую актуальность, так как в экономике, и в социальной сфере становятся все более ощутимыми проблемы, связанные с изменениями климата. В последние два десятилетия, с ростом актуальности проблем и вопросов, связанных с глобальными изменениями окружающей среды, в том числе и изменениями климата, разрозненные исследования уязвимости и адаптации социально-экологических систем (СЭС), экосистем и секторов экономики объединились в новое самостоятельное научное направление – «уязвимость и адаптация» [4].

Климатическая уязвимость — это концепция, которая отражает степень, до которой система, общество или экосистема, подвержены негативным воздействиям изменения климата. Климатическая уязвимость основывается на понимании того, какие уровни изменений климата могут повлиять на различные системы и насколько они подготовлены или способны адаптироваться к этим изменениям.

Климатическая уязвимость может меняться в зависимости от времени, местоположения, социально-экономических условий и многих других факторов. Оценка климатической уязвимости играет важную роль в разработке стратегий адаптации и смягчения последствий изменений климата.

В российской литературе применяется понятие «гидрометеорологическая уязвимость» страны (ГМУ), ее территорий и производственно-хозяйственных объектов. Гидрометеорологические воздействия проявляются в виде экономических и социальных потерь. ГМУ является сложной функцией, аргументами которой выступают:

1) характер и частота негативных погодно-климатических явлений;  
2) масштаб производственного объекта или процесса; его погодозависимость;

3) степень защищенности; особенности регионального положения, отражающие метеорологический риск, и ряд других характеристик отраслевого производства.

Таким образом, ГМУ рассматривается как комплексное понятие, включающее гидрометеорологические характеристики, а также макроэкономические показатели [2].

**Материалы и методы исследований.** Для расчета индексов климатической уязвимости использовались данные метеорологических наблюдений 42 станций сети Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды [1]. Исходные данные являются частью Государственного климатического кадастра Республики Беларусь и представлены материалами наблюдений на государственной сети гидрометеорологических наблюдений Белгидромета Минприроды.

В основу исследования положено определение индекса уязвимости (Vulnerability index). Это метрический параметр, характеризующий уязвимость системы. Индекс климатической уязвимости обычно выводится посредством сочетания (со взвешиванием или без) нескольких показателей, которые, как предполагается, представляют уязвимость. Расчет индексов климатической уязвимости ( $V_i$ ) по метеостанциям Беларуси выполнен согласно методике, представленной в работе [5] и по формуле (1):

$$V_i = \frac{|T_{\min}| + |T_{\max}|}{|T_{\min \text{ ср.}}| + |T_{\max \text{ ср.}}|} + \frac{P_{\text{экстр}}}{P_{\text{ср}}} + \frac{F_{\text{экстр}}}{F_{\text{ср}}}, \quad (1)$$

где  $T_{\max}$  – максимальное значение из абсолютных максимумов температуры воздуха, по станции;  $T_{\text{ср. макс}}$  – среднее годовое значение из абсолютных максимумов температуры воздуха, по станции;  $T_{\min}$  – минимальное значение из абсолютных минимумов температуры воздуха, обобщенное по станции;  $T_{\text{ср. мин}}$  – среднее годовое значение из абсолютных минимумов температуры воздуха, обобщенное по станции;  $P_{\text{ср}}$  – средняя суточная сумма осадков, обобщенная по станции;  $P_{\text{экстр}}$  – максимальная сумма осадков за год, обобщенная по станции;  $F_{\text{ср}}$  – средняя годовая скорость ветра, обобщенная по станции;  $F_{\text{экстр}}$  – годовой максимум из месячных значений максимальной скорости, обобщенная по станции.

Как видно, формула (1) состоит из суммы безразмерных показателей и представляет соответственно, безразмерное число, которое предлагается считать индексом климатической уязвимости [2].

Рассматриваемый период охватывает 1989-2022 гг. – период потепления климата. Были определены экстремумы температуры, осадков и ветра, и их средние многолетние значения. Расчетные значения климатических параметров представлены в табл. 1.

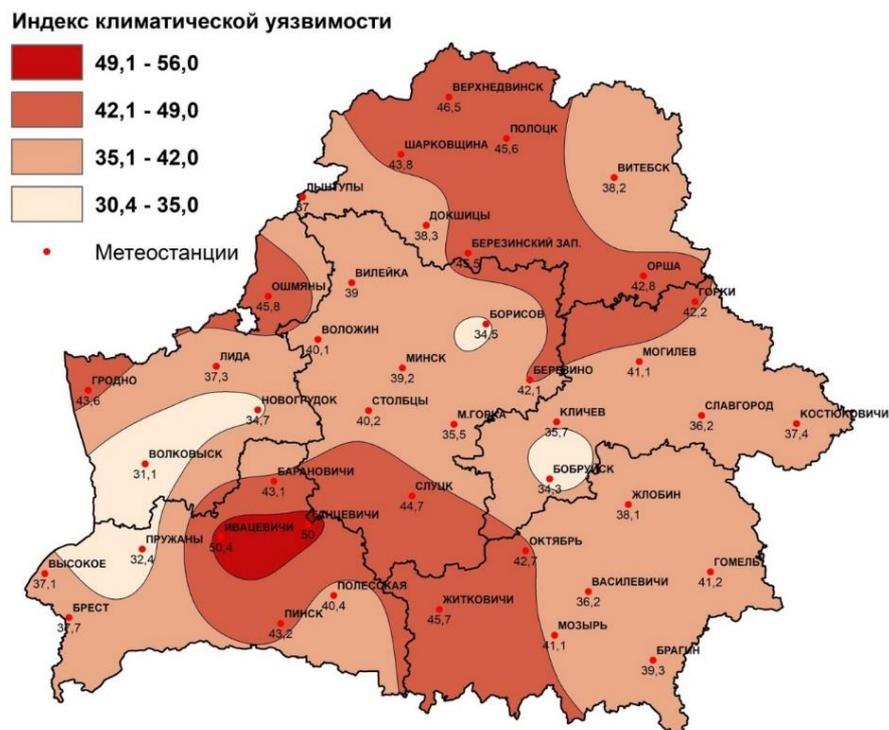
Таблица 1

**Параметры для расчета климатической уязвимости**

| Станция          | Экстремумы за год |                  |       |    | Средние за год   |                  |     |     |
|------------------|-------------------|------------------|-------|----|------------------|------------------|-----|-----|
|                  | T <sub>min</sub>  | T <sub>max</sub> | P     | F  | T <sub>min</sub> | T <sub>max</sub> | P   | F   |
| Василевичи       | -34,2             | 37,6             | 67,6  | 25 | 3,3              | 12,5             | 3,6 | 1,9 |
| Верхнедвинск     | -31,4             | 34,7             | 101,8 | 27 | 2,7              | 10,6             | 3,2 | 2,8 |
| Волковыск        | -29,0             | 35,3             | 57,1  | 27 | 4,0              | 12,1             | 3,1 | 3,1 |
| Воложин          | -28,4             | 35,5             | 94,7  | 28 | 3,8              | 10,9             | 3,8 | 2,6 |
| Витебск          | -31,6             | 37,8             | 71,4  | 28 | 3,2              | 10,7             | 3,4 | 2,3 |
| Вилейка          | -32,7             | 36,0             | 66,9  | 25 | 3,1              | 11,1             | 3,2 | 1,9 |
| Высокое          | -28,2             | 36,5             | 68,8  | 24 | 4,1              | 12,8             | 2,9 | 2,5 |
| Столбцы          | -30,5             | 36,1             | 71,9  | 26 | 3,5              | 11,7             | 3,3 | 1,9 |
| Славгород        | -31,7             | 37,8             | 67,0  | 30 | 3,3              | 11,2             | 3,3 | 2,7 |
| Слуцк            | -32,0             | 36,1             | 98,1  | 31 | 3,2              | 11,8             | 3,2 | 3,3 |
| Новогрудок       | -29,4             | 34,2             | 81,5  | 29 | 3,7              | 10,7             | 3,7 | 3,5 |
| Костюковичи      | -33,1             | 38,8             | 79,2  | 30 | 2,6              | 11,2             | 3,4 | 3,4 |
| Кличев           | -36,3             | 37,7             | 71,4  | 29 | 2,5              | 11,5             | 3,6 | 2,7 |
| М.Горка          | -31,7             | 36,5             | 67,5  | 28 | 3,3              | 11,6             | 3,3 | 2,7 |
| Могилев          | -31,5             | 36,8             | 90,2  | 29 | 2,6              | 10,8             | 3,2 | 3,7 |
| Мозырь           | -34,1             | 36,4             | 91,0  | 23 | 4,0              | 12,4             | 3,6 | 2,0 |
| Минск            | -28,6             | 35,8             | 77,5  | 22 | 3,6              | 11,3             | 3,2 | 2,1 |
| Октябрь          | -32,6             | 37,9             | 93,0  | 28 | 3,4              | 12,3             | 3,3 | 2,8 |
| Орша             | -33,1             | 38,2             | 92,2  | 25 | 2,5              | 10,6             | 3,2 | 2,9 |
| Ошмяны           | -30,6             | 34,2             | 100,7 | 30 | 3,1              | 10,9             | 3,1 | 3,5 |
| Барановичи       | -31,3             | 35,7             | 107,9 | 27 | 3,7              | 11,8             | 3,6 | 3,1 |
| Березино         | -33,8             | 36,2             | 83,0  | 24 | 3,1              | 11,7             | 3,1 | 2,3 |
| Борисов          | -30,1             | 35,6             | 69,2  | 24 | 3,2              | 11,2             | 3,4 | 2,5 |
| Бобруйск         | -33,0             | 38,0             | 67,2  | 28 | 2,6              | 11,8             | 3,4 | 2,9 |
| Брагин           | -34,3             | 38,1             | 84,8  | 24 | 3,1              | 12,3             | 3,4 | 2,5 |
| Брест            | -26,2             | 36,7             | 78,3  | 24 | 4,9              | 13,1             | 3,2 | 2,5 |
| Березинский зап. | -33,2             | 35,3             | 84,4  | 35 | 2,3              | 11,0             | 3,4 | 2,3 |
| Ганцевичи        | -30,9             | 35,3             | 105,1 | 32 | 3,3              | 12,4             | 3,2 | 2,5 |
| Гомель           | -30,8             | 38,9             | 84,9  | 27 | 4,2              | 12,3             | 3,4 | 2,3 |
| Горки            | -33,3             | 38,7             | 85,1  | 32 | 2,3              | 10,4             | 3,1 | 3,5 |
| Гродно           | -29,4             | 36,2             | 96,0  | 27 | 3,9              | 11,9             | 3,0 | 3,6 |
| Докшицы          | -34,8             | 35,7             | 75,6  | 28 | 2,2              | 10,5             | 3,1 | 3,4 |

| Станция    | Экстремумы за год |                  |       |    | Средние за год   |                  |     |     |
|------------|-------------------|------------------|-------|----|------------------|------------------|-----|-----|
|            | T <sub>min</sub>  | T <sub>max</sub> | P     | F  | T <sub>min</sub> | T <sub>max</sub> | P   | F   |
| Житковичи  | -29,5             | 36,5             | 114,7 | 24 | 3,7              | 12,8             | 3,8 | 2,1 |
| Жлобин     | -30,2             | 37,8             | 72,5  | 27 | 3,9              | 12,1             | 3,4 | 2,2 |
| Ивацевичи  | -30,6             | 35,7             | 102,8 | 27 | 3,8              | 12,5             | 3,1 | 2,1 |
| Лида       | -29,9             | 35,3             | 76,5  | 25 | 3,8              | 11,9             | 3,3 | 2,5 |
| Лынтупы    | -34,0             | 34,8             | 67,5  | 25 | 2,4              | 10,7             | 3,3 | 2,2 |
| Полесская  | -34,1             | 35,8             | 86,3  | 32 | 2,7              | 12,8             | 3,2 | 3,6 |
| Полоцк     | -31,5             | 35,8             | 93,1  | 28 | 2,7              | 11,0             | 3,3 | 2,3 |
| Пружаны    | -31,6             | 36,0             | 62,0  | 26 | 3,7              | 12,4             | 3,0 | 3,4 |
| Пинск      | -28,1             | 35,8             | 95,5  | 29 | 4,4              | 12,7             | 3,6 | 2,2 |
| Шарковщина | -32,4             | 35,6             | 87,7  | 28 | 2,9              | 11,0             | 3,2 | 2,4 |

**Результаты и их обсуждение.** На рисунке представлены результаты расчета безразмерных индексов климатической уязвимости ( $V_i$ ) по метеостанциям Беларуси за период 1989-2022 гг. Как видно из представленных результатов, значения индекса климатической уязвимости для выбранных 42 метеостанций колеблются от 31,1 (Волковыск) до 50,4 (Ивацевичи), среднее значение индекса 40,3.



Распределение индекса климатической уязвимости по территории Беларуси за период 1989-2022 гг.

По полученным показателям уязвимости была разработана классификация индекса климатической уязвимости, которая включает четыре категории индекса от «низкий» до «критичный» (табл. 2).

Таблица 2

**Классификация индекса климатической уязвимости**

| Показатель уязвимости | Индекс климатической уязвимости |
|-----------------------|---------------------------------|
| 49,1-56,0             | Критичный                       |
| 42,1-49,0             | Высокий                         |
| 35,1-42,0             | Средний                         |
| 30,0-35,0             | Низкий                          |

Анализируя таблицу 2, можно сделать вывод, что индекс климатической уязвимости характеризуется в большинстве случаев средними показателями климатической уязвимости. В основном низкие и средние показатели индекса приходятся на центральную, юго-западную и юго-восточную часть территории. Высокие показатели приходятся на север и юг страны, а критичные наблюдаются в районе Ивацевичей и Ганцевичей.

**Заключение.** В Беларуси годовые суммы осадков практически не изменилось за период потепления климата, однако значительно изменилось их внутригодовое распределение. В зимний сезон отмечено увеличение сезонных сумм осадков в период 1989-2020 гг., которое составляет 20-30 %. В летний сезон отмечается сокращение продолжительности выпадения осадков на всей территории страны на 20 %, что свидетельствует о возрастании засушливости климата, и одновременно увеличение максимальных сумм осадков на 20-30 % с наибольшим их ростом в южных районах [3].

Исходя из этого, можно говорить о том, что высокие индексы климатической уязвимости в первую очередь связаны с режимом выпадения осадков, повышением максимумов, на фоне незначительных изменений среднесуточных сумм осадков.

Также можно отметить влияние орографии, так как низкие и средние показатели характерны возвышенностям и равнинам – Волковысская возвышенность, Минская возвышенность, Нарочано-Вилейская равнина, Бобруйская равнина. Высокие и критичные показатели характерны низменностям – Полоцкая низменность, Полесская низменность.

Оценка климатической уязвимости, это исследование, которое позволяет очертить потенциал конкретной территории справляться с измене-

нием климата. Комплексный подход необходим для уменьшения климатической уязвимости Беларуси. Этот подход должен включать меры адаптации и смягчения последствий изменения климата, а также усиление экономической и социальной устойчивости страны. В него входят развитие новых технологий, улучшение инфраструктуры, повышение осведомленности населения и разработка стратегий по управлению климатическими рисками.

### Библиографические ссылки

1. ГКК. (1961-2020 гг). 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.

2. Гледко Ю. А., Небышинец А. М. Оценка климатической уязвимости как компонент планирования мер по адаптации к изменению климата // Материалы I Белорусского географического конгресса: к 90-летию факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета и 70-летию Белорусского географического общества, Минск, 8–13 апр. 2024 г. [Электронный ресурс]. В 7 ч. Ч. 1. Современные проблемы гидрометеорологии / Белорус. гос. ун-т; редкол.: Е. Г. Кольмакова (гл. ред.) [и др.]. Минск : БГУ, 2024. С. 107-112.

3. Данилович И. С., Пискунович Н. Г. Экстремальные проявления в режиме увлажнения на территории Беларуси в условиях трансформации климата // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. 2021. № 2. С. 32-44.

4. Изменение климата: последствия, смягчение, адаптация: учеб-метод. комплекс/ М. Ю. Бобрик [и др.]. Витебск : ВГУ им. П.М. Машерова, 2015. 424 с.

5. Оганесян В. В. Методика расчета климатической уязвимости территории на основе безразмерных климатических индексов // Труды Гидрометцентра России 2017. № 366. С. 158-165.