

ОЦЕНКА ТРАНСФОРМАЦИИ ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЙ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАНДАРТИЗИРОВАННЫХ ИНДЕКСОВ ОСАДКОВ SPI

И.В. Тарасевич¹⁾, Ю.А. Гледко¹⁾, И.С. Данилович^{1,2)}

*¹⁾Белорусский государственный университет,
г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: ira5582831@yandex.ru*

*²⁾Институт природопользования НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь*

Проведена оценка трансформации засушливых условий на территории Беларуси на примере данных наблюдений за периоды: 1945-1988 гг. и 1989-2020 гг. Оценка засушливости представлена с использованием стандартизированного индекса осадков SPI, рекомендованного ВМО в качестве основного метеорологического индекса засушливости. На основе данных гидрометеорологических наблюдений проведена характеристика трансформации засушливых условий путем пространственно-временного распределения линейных трендов SPI-1 и SPI-3 за период потепления климата и предшествующий ему. Анализ трендов SPI-1 указывает на усиление засушливости в апреле, июне и сентябре. По рассчитанным значениям SPI-1 и SPI-3, а также величинам линейных трендов можно отметить тенденции увеличения засушливых условий в период потепления климата (1989-2020гг.). Согласно анализу SPI, отмечается рост атмосферных засух на территории Беларуси в последние десятилетия.

Ключевые слова: атмосферные осадки; засухи; стандартизированные индексы засушливости; климат.

ASSESSMENT OF TRANSFORMATION OF ARID CONDITIONS ON THE TERRITORY OF BELARUS USING STANDARDIZED PRECIPITATION INDICES SPI

I.V. Tarasevich¹⁾, Yu.A. Hledko¹⁾, I.S. Danilovich^{1,2)}

*¹⁾Belorussian State University,
Minsk, Republic of Belarus, e-mail: ira5582831@yandex.ru*

*²⁾Institute for Nature Management NAS of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus*

An assessment of the transformation of arid conditions on the territory of Belarus was carried out using the example of observational data for the periods: 1945-1988 and 1989-2020. The assessment of aridity is presented using the standardized precipitation index SPI recommended by WMO as the main meteorological aridity index. Based on the data of hydrometeorological observations, the transformation of arid conditions was characterized by the spatial and temporal distribution of linear trends of SPI-1 and SPI-3 for the period of climate warming

and preceding it. Analysis of SPI-1 trends indicates increased aridity in April, June and September. According to the calculated values of SPI-1 and SPI-3, as well as the values of linear trends, it is possible to note the trends of increasing arid conditions during the period of climate warming (1989-2020). According to the analysis of SPI, there has been an increase in atmospheric droughts on the territory of Belarus in recent decades.

Keywords: precipitation; droughts; standardized aridity indices; climate.

Засухи и засушливые условия в атмосфере, почве, водных системах, от которых ежегодно страдает значительная часть населения Земли, являются характерной чертой трансформации климата. Тенденции частоты метеорологических засух в Европе показывают увеличение их повторяемости с 1950 года в южной Европе и большей части центральной Европы. Ожидается, что частота метеорологических засух к середине 21 столетия увеличится на большей части рассматриваемого региона. В связи с продолжающимся периодом заметного изменения климата, неоднородным пространственным распределением трендов осадков и усилением засушливости территории Беларуси, актуальность детальных исследований засух является несомненной и необходима для разработки мер адаптации к негативным климатическим изменениям.

Вопрос изучения климата территории Беларуси освещен в ряде работ. Современный период потепления на территории Беларуси отмечается с 1989 года, превышение среднегодовой температуры воздуха за период 1989–2019 гг. составило $1,3^{\circ}\text{C}$ [1]. Согласно работам [2, 3] среднее годовое количество осадков в Беларуси в конце XX века существенно не изменилось. Статистические методы показывают начало периода потепления на территории Беларуси с 1988 г. [4], повышенная неравномерность выпадения осадков и повышение температуры воздуха вызвали в Беларуси увеличение повторяемости засух. Анализ повторяемости засух за период с 1960 по 2011 гг. [5] показал, что число засух в период потепления климата (1988–2011 гг.) увеличилось во всех без исключения областях Беларуси.

К началу XXI в. наиболее распространенным индексом засушливости, основанным только на данных об осадках, стал стандартизованный индекс осадков (Standardized Precipitation Index, SPI) [6]. Применение индекса SPI рекомендовано ВМО в качестве основного метеорологического индекса засушливости, который следует использовать для мониторинга и отслеживания условий засушливости [7].

Индекс SPI может вычисляться для разных временных масштабов. В частности, в данной работе использовались рассчитанные индексы SPI за каждый месяц (SPI-1) теплого периода (апрель–октябрь) каждого года с 1945 по 2020 гг. и дополнительно рассчитанный индекс за три последовательных месяца (SPI-3) летнего периода (июнь–август) каждого года с 1945

по 2020 гг. Положительные значения индекса SPI указывают на объем осадков выше среднего, а отрицательные – ниже среднего (табл. 1).

Таблица 1

Критерии увлаженности по SPI

Значение SPI	Категория	Значение SPI	Категория
2,00 и более	Экстремальное увлажнение	от 0,0 до -0,99	Слабая засушливость
от 1,5 до 1,99	Сильное увлажнение	от -1,00 до -1,49	Умеренная засушливость
от 1,00 до 1,49	Умеренное увлажнение	от -1,5 до -1,99	Серьезная засуха
от 0,0 до 0,99	Мягкое увлажнение	-2,00 и менее	Экстремальная засуха

В данной работе использовались количественные характеристики Государственного климатического кадастра Республики Беларусь [8], который находится в ведении Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, а также расчетные статистики и индексы, характеризующие климатический режим территории Беларуси. Перечень метеорологических станций, по которым использовались данные наблюдений с координатами и характеристиками представлены в табл. 2. По данным наблюдений метеостанций были созданы алгоритмы расчетов SPI, для чего использовалась специализированная база осадков за периоды с 1945 по 2020 гг. Для получения необходимой структуры данных ряды наблюдений были переформатированы, при помощи языка программирования Python. Полученные данные использовались для расчета стандартизированных индексов SPI в программном комплексе SPIGenerator.

Для статистического анализа индекса атмосферных засух произведен расчет линейных трендов стандартизированных индексов осадков SPI-1 и SPI-3 по двум периодам: 1945–1988 гг. (табл. 3) и 1989–2020 гг. (табл. 4).

Следует отметить, что при количественной оценке засушливых явлений в период потепления климата, повторяемость засух различных градаций (согласно табл. 1) возросла на каждой станции хотя бы в один из летних месяцев, по сравнению с периодом, предшествующим потеплению.

За период заметного изменения климата, с 1989 по 2020 гг., не отмечаются значимые изменения годовых сумм осадков. Однако наблюдается их уменьшение в отдельные месяцы теплого периода – июнь, август и сентябрь, и увеличение в мае, июле и октябре.

Таблица 2

Перечень метеорологических станций

Станция	Местоположение	Индекс ВМО	Высота над уровнем моря
Бобруйск	Бобруйск, Могилевская область	26961	156 метра
Борисов	Борисов, Минская область	26759	189 метра
Брест	Брест, Брестская область	33008	146 метра
Гомель	Гомель, Гомельская область	33041	126 метра
Гродно	Гродно, Гродненская область	26825	134 метра
М. Горка	Марьина Горка, Минская обл.	26855	177 метра
Минск	Минск, Минская область	26850	225 метра
Полоцк	Полоцк, Витебская область	26653	133 метра
Витебск	Витебск, Витебская область	26666	176 метра
Могилев	Могилёв, Могилевская область	26863	193 метра
Орша	Орша, Витебская область	26763	185 метра
Горки	Горки, Могилевская область	26774	205 метра

Таблица 3

Линейные тренды стандартизированных индексов 1945-1988гг.

Станция Месяц	SPI – 1							SPI – 3
	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Июнь-август
Бобруйск	0,15	-0,53	0,84	-0,34	-0,83	-0,10	0,09	-0,75
Борисов	-0,44	-0,61	0,23	-0,15	-0,56	-0,10	0,25	-0,58
Брест	0,12	0,89	-0,20	0,36	-0,04	0,29	-0,06	0,16
Гомель	0,12	-0,20	0,79	0,19	-0,19	0,18	0,14	-0,07
Гродно	-0,72	0,72	-1,28	-0,14	-0,97	-0,05	-0,40	-0,83
М. Горка	-0,54	-0,03	0,64	0,07	-0,67	-0,06	-0,02	-0,53
Минск	0,00	-0,66	0,57	0,22	-0,78	0,26	0,29	-0,20
Могилев	-0,34	-0,72	0,11	-0,22	-0,70	-0,03	-0,27	-0,48
Орша	0,08	0,03	0,50	-0,22	-0,51	0,06	-0,34	-0,50
Полоцк	-0,33	0,03	0,69	-0,19	-0,55	-0,39	0,16	-0,73
Витебск	-0,53	-0,43	0,67	-0,02	-0,45	-0,15	-0,13	-0,43

Для пространственного анализа в работе использованы географические и картографические методы. По полученным расчетам произведено картографирование линейных трендов SPI-1 по двум периодам: 1945–1988 гг. (рис. 1) и 1989–2020 гг. (рис. 2) с использованием информационной системы для картографии ArcGIS.

Таблица 4

Линейные тренды стандартизированных индексов 1989-2020 гг.

Станция Ме- сяц	SPI – 1							SPI – 3
	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Июнь- август
Бобруйск	-0,35	0,67	-0,91	0,09	-0,11	-1,01	-0,35	-0,53
Борисов	-1,25	0,66	-0,62	-0,28	0,60	-0,89	-0,58	-0,43
Брест	-0,72	1,28	0,58	0,43	0,03	-0,39	0,04	0,28
Гомель	-1,51	0,68	-0,40	0,32	0,73	-0,94	-0,88	0,31
Гродно	-0,40	0,48	-0,71	0,74	0,29	-0,50	0,04	0,37
М. Горка	-0,70	0,61	-0,54	0,74	0,37	-0,36	-0,10	0,73
Минск	-1,09	0,73	-0,31	0,66	0,44	-0,45	-0,24	0,46
Полоцк	-0,09	0,44	-1,36	0,33	0,53	-0,86	-0,47	0,06
Витебск	0,04	0,91	-1,07	0,55	-0,05	-0,30	0,04	0,07
Орша	-0,97	0,68	-0,93	-0,08	0,60	-0,57	-0,67	-0,03
Могилев	-0,94	1,17	-0,64	0,16	0,45	-0,50	-0,57	0,17

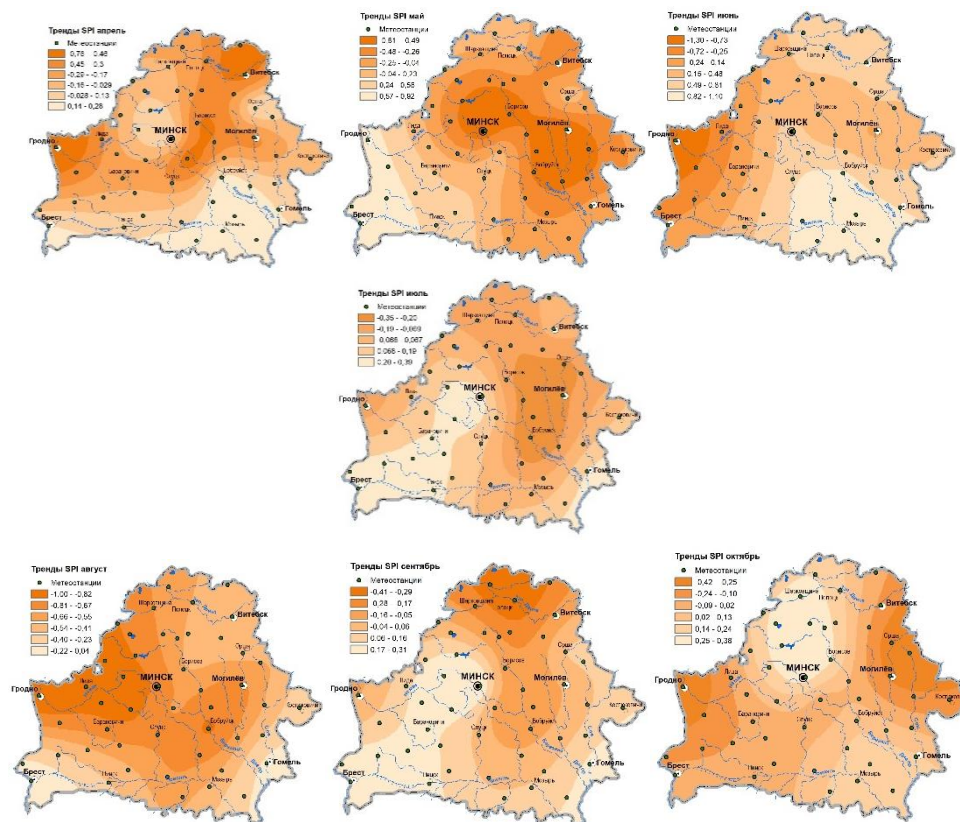


Рис. 1. Распределение линейных трендов стандартизированных индексов осадков (SPI-1) апрель-октябрь 1945-1988гг.

Анализ трендов SPI-1 указывает на усиление засушливости в апреле, июне и сентябре. По рассчитанным значениям SPI-1 и SPI-3 (рис. 3), а

также величинам линейных трендов можно отметить тенденции увеличения засушливых условий в период потепления климата (1989-2020 гг.). Согласно анализу стандартизированных индексов осадков, отмечается рост атмосферных засух на территории Беларуси в последние десятилетия.

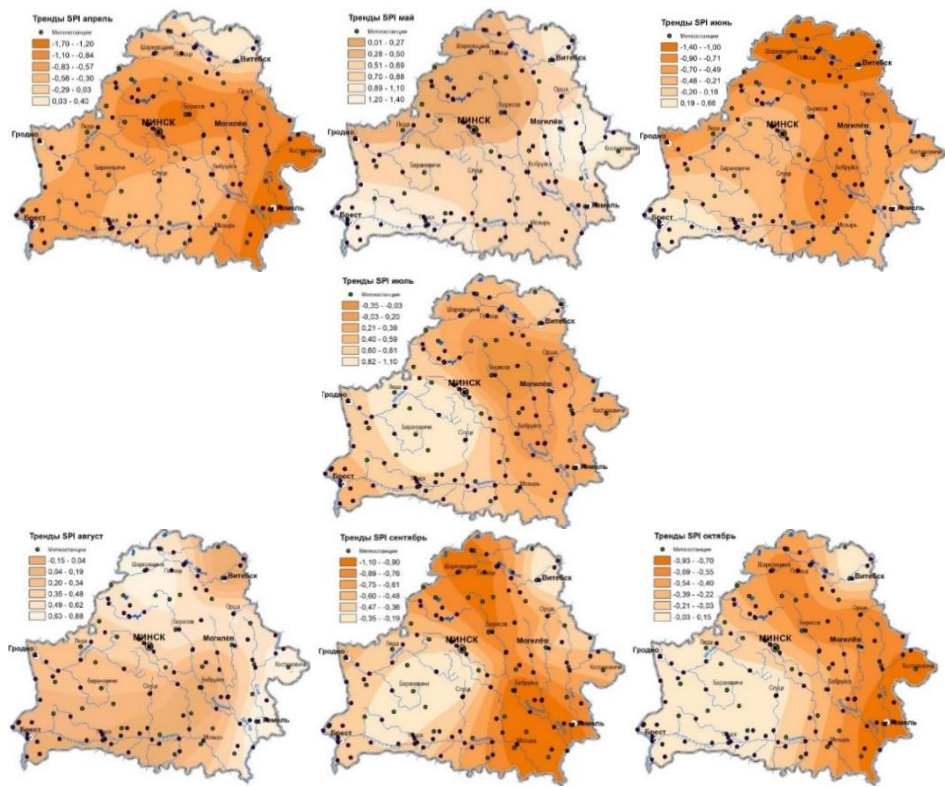


Рис. 2. Распределение линейных трендов стандартизированных индексов осадков (SPI-1) апрель-октябрь в период 1989-2020гг.

Согласно исследованию, период потепления климата отмечается трансформацией структуры выпадения осадков в теплый период года (с апреля по октябрь), а именно их значимый рост в мае и июле в центральной и южной частях страны и снижение в августе.

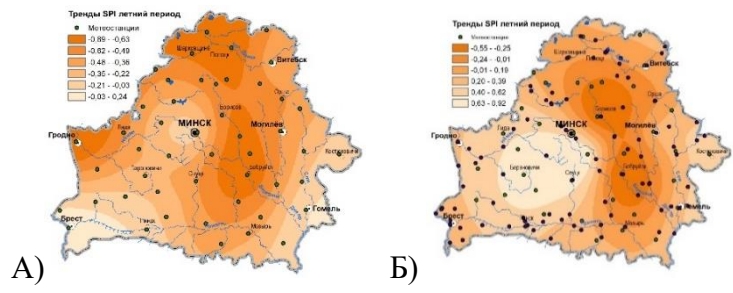


Рис. 3. Распределение линейных трендов стандартизированных индексов осадков (SPI-3) июнь-август в период А) 1945-1988гг. Б) 1989-2020гг.

Уменьшение продолжительности выпадения осадков и рост максимальных сумм осадков может свидетельствовать об увеличении продолжительности периодов без осадков и более частом формировании засушливых условий. Эту гипотезу подтверждает анализ стандартизированных индексов осадков SPI-1, согласно которым в период потепления отмечается рост повторяемости метеорологических засух на территории страны.

В летний сезон осадки характеризуются пространственной неоднородностью. Наблюдается снижение продолжительности их выпадения на исследуемой территории (за исключением севера страны) и рост максимальных сумм осадков во все летние месяцы, что свидетельствует об увеличении повторяемости засушливых периодов и подтверждается расчетами индексов SPI, которые показали рост повторяемости атмосферных засух на территории Беларуси в период потепления климата.

Библиографические ссылки

1. Хомич ВС, руководитель. Разработать прогноз состояния окружающей среды Беларуси на период до 2035 года: отчет о НИР (промежуточный). Минск: Институт природопользования НАН Беларуси; 2020. 315 с. No государственной регистрации 20192690.12. Мельник ВИ, Буяков ИВ, Чернышев ВД. Изменения количества и вида атмосферных осадков в холодный период на территории Беларуси в условиях современного потепления климата. Природопользование. 2019; 2:44–51.

2. Логинов ВФ, Лысенко СА, Мельник ВИ. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования. 2-ое изд. Минск: Энциклопедикс, 2020. 264 с.

3. Мельник В.И., Буяков И.В., Чернышов В.Д. Изменения количества и вида атмосферных осадков в холодный период на территории Беларуси в условиях современного потепления климата // Природные ресурсы. 2019. № 2. С. 44-51.

4. Подгорная Е., Мельник В., Комаровская Е. Особенности изменения климата на территории Беларуси в последние десятилетия // Труды Гидрометеорологического научного центра Российской Федерации. 2015. №358. С. 112–120.

5. Логинов, В.Ф. Экстремальные климатические явления: пространственно-временные закономерности их изменений и предпосылки прогнозирования / В.Ф. Логинов, Ю.А. Бровка. – Минск: РУП «Бел НИЦ «Экология». – 2012. – 132 с.

6. McKee T.B., Doesken N. J., and Kleist J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales, in: Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, January 17–22, Anaheim, California, pp. 179–184.

7. The Lincoln Declaration on Drought Indices: universal meteorological drought index recommended / M. Hayes [et al.] // Bulletin of the American Meteorological Society. – 2011. – Vol. 92(4). – P. 485–488.

8. ГКК. Государственный климатический кадастр: материалы наблюдений Государственной сети гидрометеорологических наблюдений Республики Беларусь. № свидетельства 0870100021, 2020.