

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2026-1-40-54>  
УДК 551.583, 551.577, 551.573

Поступила в редакцию 06.04.2026  
Received 06.04.2026

## АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АТМОСФЕРНОГО УВЛАЖНЕНИЯ ДЛЯ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

В. И. Мельник, К. С. Юдыцкая

*Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

**Аннотация.** Цель исследования состояла в анализе данных увлажнения территории Беларуси, полученных по оценкам различных показателей увлажнения, и обосновании выбора показателя увлажнения для интерпретации характеристик засух при агроклиматическом районировании.

Проведен анализ показателей атмосферного увлажнения территории Беларуси за периоды 1991–2020 гг. (май – сентябрь) и 2000–2022 гг. (май – июнь). Установлено, что высокая корреляция между различными индексами не обеспечивает одинаковую интерпретацию характера засушливых явлений.

Приведены и проанализированы значения испаряемости, рассчитанные различными методами. На основании проведенных исследований в качестве показателя атмосферного увлажнения на данном этапе агроклиматического районирования предложено использование индекса аридности за май – июнь, отражающего отношение сумм осадков и испаряемости. Рассчитаны значения индекса аридности по пунктам наблюдений и агроклиматическим областям, дана их оценка с учетом адаптированных градаций увлажнения, выявлены особенности распределения индекса аридности в течении года.

**Ключевые слова:** испаряемость; показатели увлажнения; климат; методы оценки засух; индекс аридности.

**Для цитирования.** Мельник В. И., Юдыцкая К. С. Анализ показателей атмосферного увлажнения для агроклиматического районирования территории Беларуси // Природопользование. – 2026. – № 1. – С. 40–54.

## THE ANALYSIS OF THE ATMOSPHERIC HUMIDIFICATION INDEXES FOR THE AGROCLIMATIC ZONING OF THE TERRITORY OF BELARUS

V. I. Melnik, K. S. Yudytskaya

*Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

**Abstract.** The aim of the study was to analyze data on the moisture conditions of the territory of Belarus, obtained through assessments of various moisture indicators and to justify the choice of a moisture indicator for interpreting the characteristics of droughts in agroclimatic zoning.

An analysis was conducted of atmospheric moisture indices for Belarus for the periods 1991–2020 (May – September) and 2000–2022 (May – June). It was found that a high correlation between various indices does not ensure a uniform interpretation of the characteristics of drought events.

The values of evaporation calculated using various methods are presented and analyzed. Based on the conducted studies, it is proposed that the aridity index for May – June, which reflects the ratio of precipitation totals to evaporation, be used as an index for atmospheric moisture assessment at this stage of agroclimatic zoning. Aridity index values have been calculated for observation stations and agroclimatic regions; they have been evaluated taking into account adapted moisture gradations, and the characteristics of the aridity index distribution throughout the year have been identified.

**Keywords:** evaporation; humidification indices; climate; drought assessment methods; aridity index.

**For citation.** Melnik V. I., Yudytskaya K. S. The analysis of the atmospheric humidification indexes for the agroclimatic zoning of the territory of Belarus. *Nature Management*, 2026, no. 1, pp. 40–54.

**Введение.** Внимание отечественных и зарубежных исследователей к изучению характеристик увлажнения связано, прежде всего, с тем, что его экстремумы (особенно засухи) способны наносить значительный ущерб погодозависимым секторам экономики и в первую очередь сельскому хозяйству. Экстремальность климата (увлажнения) возрастает в условиях глобального потепления. В условиях

изменения климата повторяемость атмосферных и почвенных засух увеличивается, поэтому мониторинг засушливых явлений приобретает все более важное значение. За рубежом и в Беларуси за последние годы появился ряд исследований, посвященных изучению засушливых явлений, атмосферных и почвенных засух. При этом для оценки условий увлажнения территории широко используются как классические показатели увлажнения (ГТК Селянинова, индекс Педя, рекомендованный Всемирной метеорологической организацией (ВМО) стандартизованный индекс осадков (SPI)), так и показатели увлажнения, рассчитанные с применением математических моделей физических процессов (испаряемость, индекс аридности – AI), а также с применением спутниковых и наземных данных. В то же время исследования показывают, что высокие коэффициенты корреляции между временными рядами показателей атмосферного увлажнения не гарантируют одинаковую интерпретацию характеристик засух на исследуемых территориях за один и тот же период, различными показателями увлажнения.

Цель работы – провести анализ данных увлажнения территории Беларуси, полученных по оценкам различных показателей увлажнения, сравнить их и обосновать выбор показателя увлажнения для интерпретации характеристик засух на данном этапе агроклиматического районирования.

**Материалы и методы исследования.** Исследования показателей увлажнения базировались на материалах Государственного климатического кадастра с использованием месячных, сезонных и годовых значений температуры воздуха, осадков, влажности воздуха и почвы (данные наблюдений по 47 гидрометеорологическим станциям Государственной сети гидрометеорологических наблюдений за наиболее теплые последние десятилетия (2000–2022 гг.)). Для расчета рекомендованного Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (ФАО) индекса аридности (AI) на территории Беларуси использовались данные станционных наблюдений по атмосферным осадкам и сеточные данные по потенциальному испарению, представленные реанализом ERA5 на основе глобальной модели атмосферы IFS Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды. Картографирование основных показателей увлажнения выполнено с применением программы ArcGIS.

**Результаты и их обсуждение.** Существует ряд показателей для оценки увлажнения территории, в том числе засух. Для европейской части России и территории бывшего Советского Союза были разработаны и использовались индекс засушливости Г. Н. Высоцкого, показатель засушливости П. И. Колоскова, баланс увлажнения Р. Э. Давида, гидротермический коэффициент (ГТК) Г. Т. Селянинова, показатель засушливости Н. В. Бова, коэффициент увлажнения Н. Н. Иванова, показатель сухости климата В. П. Попова, радиационный индекс сухости М. И. Будыко, показатель увлажнения С. И. Костина, коэффициент увлажнения С. А. Сапожниковой, показатель атмосферного увлажнения Д. И. Шашко, индекс засушливости Д. А. Педя, коэффициент увлажнения Е. С. Улановой с соавторами [1]. В последние три десятилетия наиболее используемыми показателями для оценки атмосферных засух на сопредельных с Беларусью территориях стран СНГ являются показатели изменения температуры и осадков: ГТК Селянинова, индекс Д. А. Педя [2–4]. Кроме того, широкое распространение получили наиболее известные за рубежом количественные показатели засухи – стандартизованный индекс осадков (SPI – Standardized Precipitation Index) и стандартизованный индекс осадков и испаряемости (SPEI – Standardized Precipitation Evapotranspiration Index), а также показатели засух, рассчитанные по значениям испаряемости [2, 5–8]. Большинство показателей засушливости выражаются отношением прихода количества влаги (осадки, запасы влаги в почве и т. д.) к ее расходу (испаряемость, дефицит влажности воздуха, температура и т. д.) с использованием различных эмпирических коэффициентов.

При агроклиматическом районировании территории Беларуси известным ученым климатологом А. И. Кайгородовым в 1934–1935 гг. впервые в качестве показателя увлажнения была предложена годовая сумма атмосферных осадков [9]. По указанному показателю сложно судить об агроклиматических условиях произрастания сельскохозяйственных культур в вегетационный период. Работы по агроклиматическому районированию были продолжены в 1950-х годах сотрудниками Минской гидрометеорологической обсерватории под руководством Н. И. Малишевской [10]. В качестве показателя увлажнения был предложен ГТК Селянинова за период с температурой выше 10 °С. В 1973 г. профессором А. Х. Шкляром разработано новое агроклиматическое районирование территории Беларуси [11]. Показатель увлажнения по Н. Н. Иванову, примененный при оценке влагообеспеченности территории в указанном агроклиматическом районировании А. Х. Шкляра и выражающий отношение годового количества осадков к годовой испаряемости, характеризует увлажнение территории в целом за год, что явно недостаточно при оценке условий влагообеспеченности периода активной вегетации, особенно при текущих условиях роста количества осадков в зимний период. В 2016–2017 гг. было выполнено новое агроклиматическое районирование территории Беларуси с учетом изменения климата за период потепления 1989–2015 гг., где в качестве показателя увлажнения для районирования территории был предложен ГТК Селянинова за май – июль [12]. Следует отметить, что ГТК Селянинова в свое время широко использовался советскими учеными при районировании различных территорий, включая агроклиматическое районирование Советского Союза и всего мира [13, 14].

В Украине генеральная схема агроклиматического районирования, в основу которой положены значения ГТК Селянинова, была разработана в 1986 г. [15]. В последних работах оценка увлажнения территории Украины сделана с применением показателей увлажнения SPI и SPEI [16]. В Казахстане выполнено районирование территории на основе актуальных данных, учитывающее потребности основных сельскохозяйственных культур в тепле и влаге, где в качестве показателя увлажнения использован уточненный ГТК Селянинова [17].

К последним научным исследованиям по оценкам увлажнения территории Беларуси по различным показателям следует отнести исследования по оценке увлажнения территории в различные периоды по показателю ГТК Селянинова, количеству осадков, запасам продуктивной влаги верхнего слоя почвы [18, 19]. Рассчитаны показатели засушливости территории страны за различные периоды на основании SPI, рекомендованного ВМО [20]. Дана оценка атмосферного увлажнения территории Беларуси по среднегодовым разностям между количеством осадков и потенциальным испарением (испаряемостью) в атмосфере [21], а также по отношению осадков и испаряемости. Выполнен большой объем исследований по оценке запасов влаги и повторяемости почвенных засух на сельскохозяйственных землях Белорусского Полесья с построением карты уязвимости почв к засухам Гомельской и Брестской областей и Белорусского Поозерья [22, 23].

Перспективным направлением является использование спутниковой информации при мониторинге засух и ее комплексирование с наземными агрометеорологическими наблюдениями, что позволяет получать ежедневную информацию об увлажнении верхнего слоя почвы на больших площадях. В настоящее время в Институте природопользования НАН Беларуси получены и обработаны спутниковые данные европейской организации спутниковой метеорологии (EUMETSAT) со спутников Metop-A, Metop-B, Metop-C. Разработана компьютерная программа, позволяющая получать карты влажности на основе спутниковых данных. Осуществлена координатная привязка спутниковых данных для станций наземного наблюдения. Следует отметить, что данные спутниковых измерений в целом хорошо отражают тенденцию изменений влажности почвы верхнего поверхностного слоя, однако пока не удалось достичь однозначной интерпретации спутниковой информации для достоверной численной оценки поверхностной влажности почвы [24]. Вопрос использования спутниковой информации для оперативного мониторинга засух на территории Беларуси требует дальнейших проработок и исследований. В этой связи заслуживают внимания последние исследования по оценке проявления засух на почвах Белорусского Поозерья с использованием температурно-влажностных и вегетационных индексов по данным дистанционного зондирования [25, 26].

Рассмотрим результаты оценки увлажнения территории Беларуси с применением различных показателей увлажнения. В работе [27] выполнена оценка атмосферного увлажнения на территории Беларуси за июнь – август за период новых климатических норм (1991–2020 гг.) с использованием гидротермического коэффициента Г. Т. Селянинова (ГТК), индекса засушливости Д. А. Педя (S), стандартизованного индекса осадков SPI. Установлено распространение за указанный период на большей части территории Беларуси оптимальных условий увлажнения по ГТК, засушливых условий (на юго-востоке, северо-востоке и в центральной части страны) по индексу Педя. По стандартизованному индексу осадков SPI территория Беларуси характеризуется как нормальным увлажнением (почти весь юг, северо-восток, крайний восток страны), так и слабозасушливыми условиями в вегетационный период. В целом полученные результаты говорят о неодинаковой интерпретации характеристик засух известными показателями увлажнения за один и тот же период. При этом в данном исследовании отмечены, статистически значимые ( $r \geq 0,35$ ) коэффициенты пространственной корреляции между индексами в летние месяцы, особенно в августе (табл. 1).

**Таблица 1. Коэффициенты пространственной корреляции ( $r$ ) индексов атмосферного увлажнения в летние месяцы 1991–2020 гг.**

**Table 1. Spatial correlation coefficients ( $r$ ) of atmospheric moisture indices in the summer months of 1991–2020**

| Индексы   | Месяц |       |        |
|-----------|-------|-------|--------|
|           | июнь  | июль  | август |
| ГТК – S   | –0,61 | –0,64 | –0,85  |
| ГТК – SPI | 0,47  | 0,54  | 0,72   |
| S – SPI   | –0,41 | –0,61 | –0,86  |

Приведенный в работе [28] обзор современных методов исследования и оценки засух также показал, что мониторинг и определение засух в целом представляет собой актуальную и многогранную задачу, которая, несмотря на многочисленные исследования, остается нерешенной и в некоторых регионах приобретает приоритетное значение на фоне наблюдающихся изменений климата. Дальнейшие

исследования в этой области должны сосредоточиться на повышении эффективности применения различных показателей оценки засух и их комбинаций, а также на разработке критериев, соответствующих уровням интенсивности засухи, для обнаружения и раннего предупреждения засух.

При выполнении НИР «Новое агроклиматическое районирование и оценка агроклиматических ресурсов территории Беларуси в условиях изменения климата» (регистрационный номер 20231603) для оценки и выбора показателя атмосферного увлажнения территорий агроклиматических областей, подобластей, районов выполнено пространственное распределение показателей атмосферного увлажнения (ГТК Селянинова, стандартизованного индекса осадков SPI, коэффициента увлажнения Шашко за наиболее критический период в жизни растений – май – июнь 2000–2020 гг. (рис. 1).



**Рис. 1. Пространственное изменение осредненных показателей атмосферного увлажнения (а – гидротермического коэффициента Селянинова; б – стандартизованного индекса осадков SPI; в – коэффициента увлажнения Шашко на территории Беларуси), май – июнь 2000–2022 гг.**

**Цвета на картах: желтый – слабая и умеренная засуха, зеленый – нормальное и умеренное увлажнение, темно-зеленый – избыточное увлажнение**

**Fig. 1. Spatial change in the average indices of atmospheric humidification (a – Selyaninov hydrothermal coefficient; b – standardized precipitation index SPI; c – Shashko humidification coefficient) in the territory of Belarus, May – June 2000–2022.**

**Colors on cards: yellow – mild and moderate drought; green – normal and moderate humidification; dark green – excessive humidification)**

Анализ увлажнения территории Беларуси по различным показателям за май – сентябрь 1991–2020 гг., и май – июнь 2000–2022 гг. показал неоднозначность полученных оценок увлажнения территории (от избыточного увлажнения по коэффициенту ГТК до слабой и умеренной засухи по SPI и Шашко). Подобные результаты, когда высокие коэффициенты корреляции между временными рядами показателей, отражающих засушливость и переувлажнение, не гарантируют одинаковую интерпретацию характеристик засух, показали проведенные исследования в [5]. При этом выявлено, что ГТК по сравнению с другими показателями существенно завышает повторяемость сильных засух в период активной вегетации практически на всей территории исследования. Таким образом, в исследовании подчеркивается, что до сих пор не существует признанного количественного показателя засухи. Каждый используемый показатель характеризует ситуацию с засушливыми условиями с определенной точки зрения. Отсюда следует, что возможности единого подхода к сравнению результатов на основе применения различных показателей засух ограничены [5]. В наших исследованиях показатель ГТК показал более высокие значения увлажнения территории [27]. Необходимо отдельно отметить применение стандартизованного индекса осадков SPI, рекомендованного ВМО в качестве показателя для мониторинга засух в национальных метеослужбах [28], Специальные исследования российских ученых по применению этого показателя на территории ряда регионов России показали его высокую корреляцию с другими показателями увлажнения и возможность использования при прогнозах урожайности [7]. Наши исследования подтвердили, что SPI дает хорошие результаты при сравнительной оценке увлажнения по различным периодам. Значения увлажнения по SPI за конкретный период зависят от длины ряда наблюдений за осадками и поэтому их трудно сравнивать с показателями увлажнения (ГТК, Шашко и др.), которые рассчитываются за конкретный период, независимо от предшествующего периода. Неопределенность оценок увлажнения для одного и того же периода по SPI при выборе различных периодов в качестве базового отражена в табл. 2.

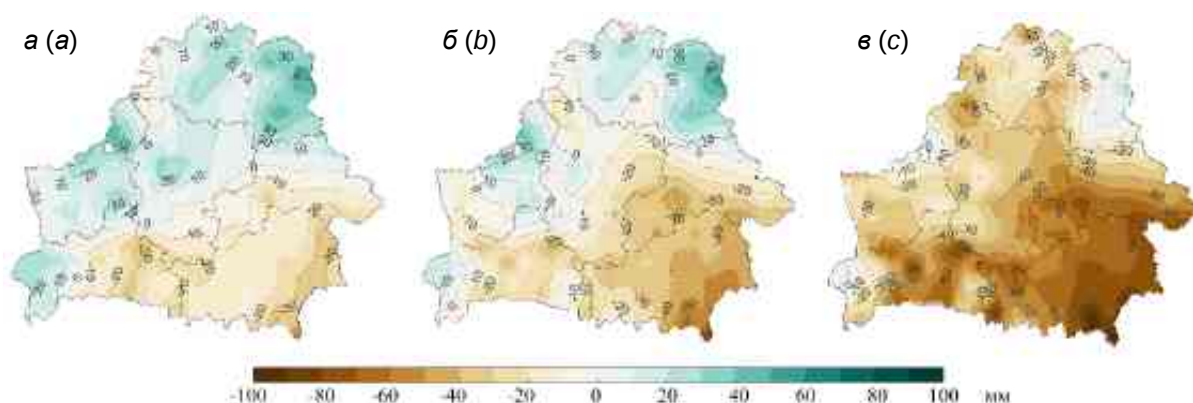
**Таблица 2. Значения увлажнения по стандартизированному индексу осадков SPI за 2000–2022 гг. (май – июнь) в зависимости от периода наблюдений**

**Table 2. Moisture values according to the standardized precipitation index SPI for 2000–2022 (May – June) depending on the observation period**

| Период    | Станция    |       |       |            |            |
|-----------|------------|-------|-------|------------|------------|
|           | Василевичи | Горки | Минск | Новогрудок | Шарковщина |
| 1945–2022 | –0,04      | 0,08  | 0,03  | –0,12      | 0,02       |
| 1955–2022 | –0,07      | 0,13  | 0,01  | –0,08      | 0,01       |
| 1965–2022 | –0,16      | 0,09  | 0,00  | –0,08      | –0,01      |
| 1975–2022 | –0,12      | 0,10  | 0,02  | 0,01       | –0,01      |
| 1985–2022 | –0,15      | 0,01  | 0,01  | –0,06      | –0,08      |
| 1995–2022 | –0,10      | –0,03 | –0,06 | –0,06      | –0,06      |

**Оценки увлажнения по испарению.** При оценках влияния возможного изменения климата на гидротермические условия территории чаще всего применяют количественные показатели, представляющие собой отношение ресурсов влаги к потребности во влаге. В качестве ресурсов влаги используют атмосферные осадки, а потребность во влаге определяют испаряемостью или фактором, ее заменяющим. Испаряемость является условной величиной, характеризующей максимально возможное (потенциально возможное, не лимитируемое запасами воды) испарение в данной местности при существующих атмосферных условиях. Подразумевается, что это либо испарение с поверхности воды в испарителе, либо испарение с открытой водной поверхности крупного естественного пресноводного водоема, либо испарение с избыточно увлажненной почвы. Полного совпадения между указанными определениями нет, так как условия испарения в испарителе отличаются от условий в естественном водоеме, а эти последние – от условий испарения с избыточно увлажненной почвы. Величина испаряемости определяется радиационным балансом, температурой и влажностью воздуха и скоростью ветра, то есть, по существу, комплексом метеорологических условий. Эту величину можно определять как расчетными методами с использованием метеорологических данных, так и с помощью водных испарителей, применяя эмпирические коэффициенты для приведения полученных значений к величинам испаряемости [8].

О тенденциях в изменении условий увлажнения территории Беларуси, складывающихся в результате потепления климата, можно судить по среднегодовым разностям между количеством осадков и потенциальным испарением (испаряемостью) в атмосфере. Как показали исследования, до 2000 г. годовое количество осадков превышало годовую испаряемость на всей территории Беларуси, причем в северных регионах – до 300 мм [21]. За период 2000–2020 гг. соотношение между осадками и испаряемостью поменялось кардинальным образом. В настоящее время отрицательный баланс (превышение испарения над осадками) наблюдается на всей территории Брестской и Гомельской областей, нулевой баланс – на юге Гродненской, Минской и Могилёвской областей, а максимальное превышение осадков над испаряемостью в остальной части страны – не более 150 мм. Такое снижение водного баланса вызвано быстрым потеплением воздуха, а вместе с этим и увеличением влагоемкости атмосферы при отсутствии существенного роста годового количества атмосферных осадков.



**Рис. 2. Разность между количеством осадков и суммарным испарением за май – сентябрь по периодам: а – 1961–1990 гг.; б – 1981–2010 гг.; в – 1991–2020 гг. [30]**

**Fig. 2. The difference between precipitation and total evaporation in May–September by periods: а – 1961–1990; б – 1981–2010; в – 1991–2020 [30]**

На рис. 2 представлена разность между приходной (осадки) частью водного баланса и расходной ее частью (суммарным испарением) за период активной вегетации (май – сентябрь) по различным климатическим периодам. Как следует из рис. 2, последнее тридцатилетие, характеризующее период потепления, является засушливым на большей части территории и испарение практически во всех районах превышает количество осадков.

С целью оценки различных методов расчета испаряемости для территории Беларуси (станции Шарковщина, Горки, Минск, Волковыск, Василевичи) рассчитаны значения испаряемости (мм) за май – сентябрь 2013–2022 гг. Результаты расчетов испаряемости различными методами (Волчека, Иванова, Костина, Ольдекопа, Пенмана – Монтейта, Селянинова, Шашко) приведены на рис. 3, 4.

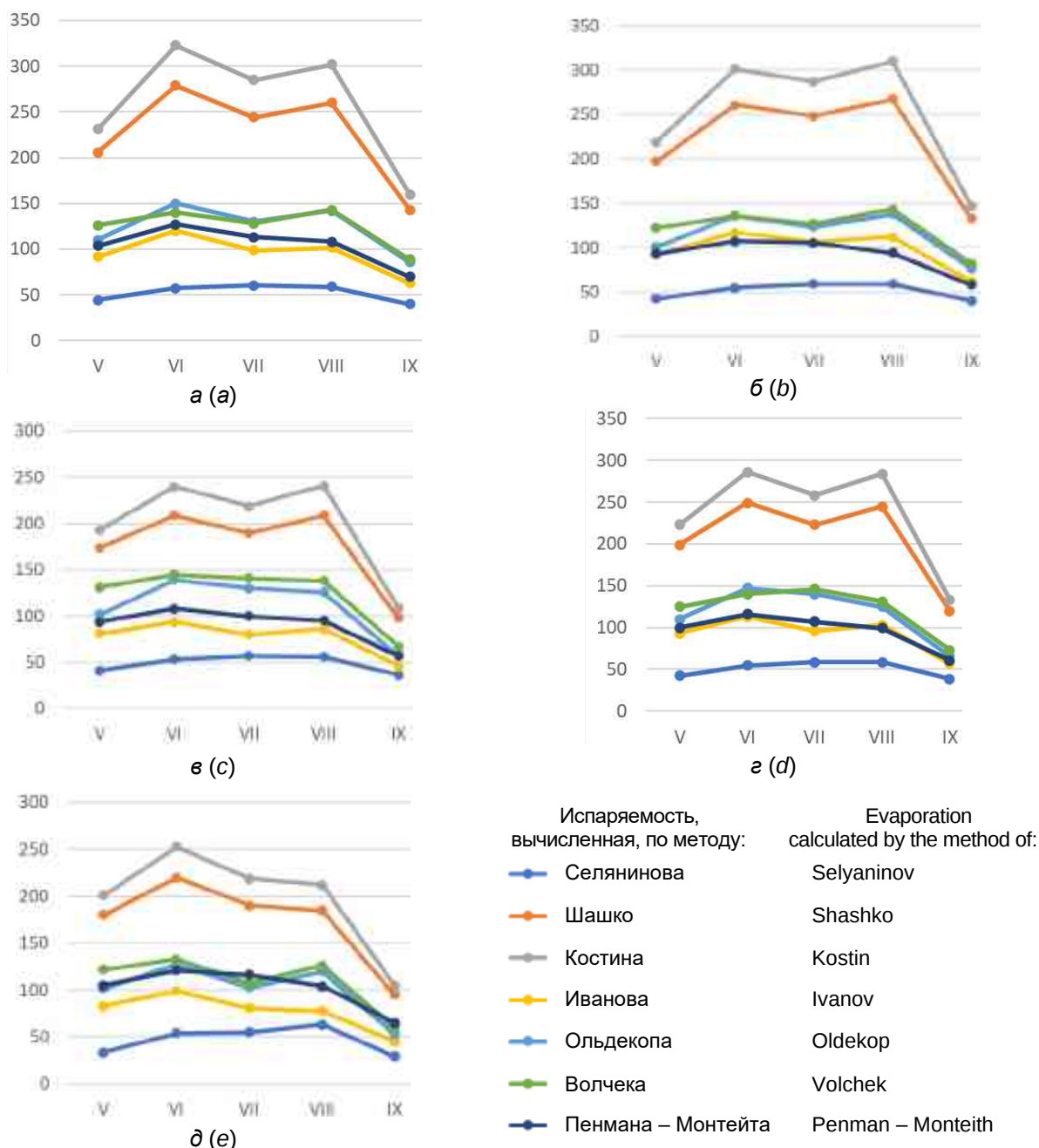


Рис. 3. График сезонного хода (май – сентябрь) испаряемости, вычисленной по различным методам, 2013–2022 гг.: а – Василевичи; б – Волковыск; в – Горки; г – Минск; д – Шарковщина

Fig. 3. The graph of the seasonal change (May – September) of evaporation calculated by various methods, 2013–2022: а – Vasilevichi; б – Volkovysk; в – Gorki; д – Minsk; е – Sharkovshchina

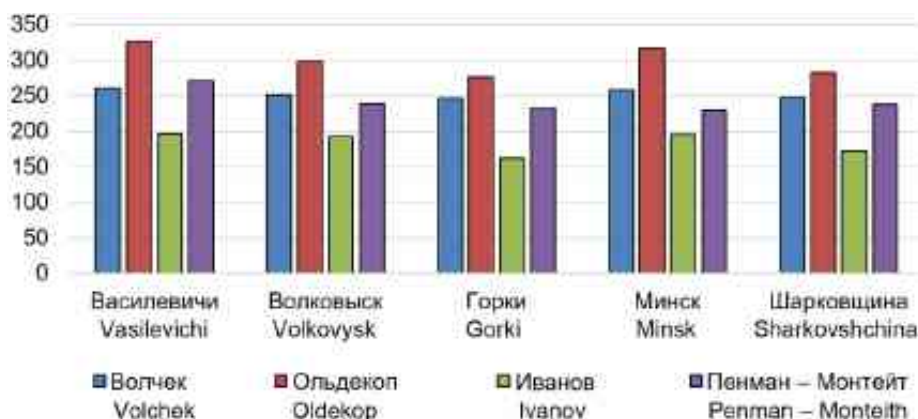


Рис. 4. Испаряемость, вычисленная по различным методам, май – июнь 2000–2022 гг.

Fig. 4. Evaporation calculated by various methods, May – June 2000–2022

Испаряемость по Селянинову:

$$E = 0,1 \sum T \geq 10^{\circ}\text{C},$$

где  $T$  – температура.

Испаряемость по Шашко:

$$E = \sum d,$$

где  $d$  – дефицит влажности воздуха.

Испаряемость по Костину:

$$E = dn (1 + 0,004t)^2,$$

где  $d$  – средний дефицит влажности за период;  $n$  – число дней в периоде;  $t$  – средняя температура воздуха за данный период.

Испаряемость по Иванову:

$$E = 0,0018 (25 + T)^2 (100 - r),$$

где  $T$  – среднемесячная температура воздуха;  $r$  – среднемесячная относительная влажность воздуха.

Испаряемость по Ольдекопу:

$$E = md,$$

где  $m = 22,7$  для теплого периода года (апрель – октябрь) и  $m = 16,0$  для холодного периода года (ноябрь – март);  $d$  – средний месячный дефицит влажности, мм.

Испаряемость по Волчку:

$$E = \langle LZ_m \rangle = R + P + \Delta B + \Delta Z_m,$$

где  $L$  – скрытая теплота испарения, ккал/см<sup>3</sup>;  $Z_m$  – эквивалент теплоэнергетических ресурсов – максимально возможное испарение (испаряемость), мм;  $R$  и  $P$  – положительные составляющие радиационного баланса и турбулентного теплообмена соответственно, ккал/см<sup>2</sup>;  $\Delta B$  – изменения теплозапасов деятельного слоя почвы, ккал/см<sup>2</sup>;  $\Delta Z_m$  – расход тепла на таяние снега, льда и прогревание почвы, ккал/см<sup>2</sup>.

Испаряемость по Пенману – Монтейту:

$$E = \left( 0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{0,925}{T + 273} u_2 (e_s - e_a) \right) / \left( \Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2) \right),$$

где  $R_n$  – чистая радиация на поверхности культуры, МДж·м<sup>-2</sup>·сут<sup>-1</sup>;  $G$  – плотность теплового потока почвы, МДж·м<sup>-2</sup>·сут<sup>-1</sup>;  $\gamma$  – психометрическая постоянная, кПа·К<sup>-1</sup>;  $T$  – среднесуточная температура воздуха на высоте 2 м, °С;  $u_2$  – скорость ветра на высоте 2 м, м·с<sup>-1</sup>;  $e_s$  – давление насыщенного пара, кПа;  $e_a$  – фактическое давление пара, кПа;  $(e_s - e_a)$  – дефицит давления насыщенного пара, кПа;  $\Delta$  – наклон кривой давления пара, кПа·К<sup>-1</sup>.

Анализ значений испаряемости, полученных различными методами, показал следующее:

– все показатели демонстрируют одинаковую тенденцию изменения испаряемости по месяцам года;

– расчет испаряемости по ГТК Селянинова дает самые низкие значения, по методу Костина и Шашко – самые высокие значения испаряемости (см. рис. 3). Рассчитанные значения испаряемости по ГТК и методу Шашко объясняют расхождения в оценках увлажнения территории, приведенные в работе [27] и на рис. 1. На рис. 4 значения испаряемости заведомо представлены без вышеуказанных методов (ГТК Селянинова, Костина, Шашко).

В исследованиях российских ученых по оценкам испаряемости различными методами расчета на основе статистического анализа и пространственного сравнения картосхем распределения средних годовых значений испаряемости был сделан вывод о том, что из тринадцати рассмотренных методов расчета испаряемости наиболее надежными для использования на территории юга Русской равнины являются методы А. И. Будаговского, Х. Л. Пенмана и Д. Л. Монтейта, Н. Н. Иванова, М. И. Будыко, А. Р. Константинова, Э. М. Ольдекопа, К. Тортвейта [8]. Как видно из рис. 3 и 4, все указанные методы расчета испаряемости (Пенмана – Монтейта, Иванова, Ольдекопа, а также метод Волчека) показали довольно близкие значения. Анализ этих данных (испаряемости) позволяет говорить о том, что метод Пенмана – Монтейта дает наименьшее отклонение от среднего значения испаряемости, рассчитанного по всем указанным методам испаряемости. Необходимо отметить, что расчет испаряемости по методу Пенмана – Монтейта рекомендован экспертами ФАО [8] и впервые для территории Беларуси был использован С. А. Лысенко для расчета рекомендованного ФАО индекса аридности (AI), определяемого как среднее значение отношения сумм атмосферных осадков  $P$  и потенциального испарения (испаряемости) [29, 30].

С учетом изложенного на данном этапе агроклиматического районирования индекс аридности (AI) принят в качестве основного показателя атмосферного увлажнения территории за наиболее критический период в жизни растений (май – июнь).

Для оценки современных изменений индекса аридности (AI) на территории Беларуси нами использованы данные станционных наблюдений по атмосферным осадкам и сеточные данные по потенциальному испарению, представленные реанализом ERA5 на основе глобальной модели атмосферы IFS Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды. Станционные значения осадков интерполировали методом обыкновенного кригинга с учетом данных всех станций государственной гидрометеорологической сети и данных станций соседних государств. Индекс аридности (AI), приведенный на рис. 5, вычисляли как среднее значение отношения сумм атмосферных осадков  $P$  и потенциального испарения (испаряемости) за период с 2000 по 2022 г. (май – июнь).



Рис. 5. Пространственное распределение индекса аридности (AI), май – июнь 2000–2022 гг.

Fig. 5. Spatial distribution of the aridity index (AI), May – June 2000–2022

С учетом градаций индекса аридности (AI), рекомендованных ФАО [31], для территории Беларуси предлагается следующее уточненное наименование его градаций, с добавлением градации «сильное увлажнение и переувлажнение» (табл. 3).

**Таблица 3. Уточненные градации индекса аридности (AI) для территории Беларуси**

**Table 3. Updated aridity index (AI) grades for the territory of Belarus**

| Значение индекса аридности (AI) | Характеристика условий увлажнения территории       |
|---------------------------------|----------------------------------------------------|
| $KY < 0,05$                     | Экстремально засушливые условия                    |
| $0,05 \leq KY < 0,20$           | Сильнозасушливые условия                           |
| $0,20 \leq KY < 0,50$           | Среднезасушливые условия                           |
| $0,50 \leq KY < 0,65$           | Слабозасушливые условия (недостаточное увлажнение) |
| $0,65 \leq KY < 1,00$           | Умеренное увлажнение                               |
| $KY \geq 1,00$                  | Сильное увлажнение и переувлажнение                |

Значения индекса аридности (AI) по пунктам наблюдений по агроклиматическим областям (по отдельным месяцам, за май – июнь, период IV–X и год за 2000–2022 гг.) приведены в табл. 4.

**Таблица 4. Значения коэффициента атмосферного увлажнения (индекса аридности – AI), 2000–2022 гг.**

**Table 4. Values of the atmospheric humidification coefficient (aridity index – AI), 2000–2022**

| Агроклиматическая область, станция           | Продолжительность периода |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------------------------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                              | IV                        | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | V–VI | IV–X | ГОД  |
| <i>Северная агроклиматическая область</i>    |                           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Верхнедвинск                                 | 0,51                      | 0,56 | 0,59 | 0,68 | 0,76 | 1,00 | 2,95 | 0,60 | 0,73 | 1,00 |
| Езерище                                      | 0,53                      | 0,60 | 0,59 | 0,77 | 0,72 | 0,94 | 3,55 | 0,62 | 0,77 | 1,06 |
| Полоцк                                       | 0,58                      | 0,57 | 0,59 | 0,73 | 0,73 | 0,91 | 3,14 | 0,60 | 0,75 | 1,04 |
| Шарковщина                                   | 0,55                      | 0,57 | 0,56 | 0,71 | 0,80 | 0,91 | 2,67 | 0,58 | 0,74 | 0,97 |
| Витебск                                      | 0,59                      | 0,59 | 0,55 | 0,75 | 0,76 | 1,02 | 3,38 | 0,58 | 0,77 | 1,12 |
| Лынтупы                                      | 0,56                      | 0,58 | 0,56 | 0,67 | 0,80 | 0,98 | 3,00 | 0,59 | 0,75 | 1,06 |
| Докшицы                                      | 0,58                      | 0,57 | 0,53 | 0,74 | 0,79 | 0,91 | 2,81 | 0,56 | 0,74 | 1,00 |
| Березинский заповедник                       | 0,57                      | 0,59 | 0,55 | 0,77 | 0,78 | 0,88 | 2,77 | 0,59 | 0,75 | 1,01 |
| Орша                                         | 0,55                      | 0,62 | 0,55 | 0,62 | 0,71 | 0,89 | 2,50 | 0,60 | 0,71 | 0,95 |
| Вилейка                                      | 0,60                      | 0,64 | 0,57 | 0,71 | 0,77 | 0,88 | 2,61 | 0,63 | 0,75 | 1,00 |
| Горки                                        | 0,57                      | 0,59 | 0,56 | 0,66 | 0,71 | 0,84 | 2,57 | 0,60 | 0,72 | 0,97 |
| Ошмяны                                       | 0,57                      | 0,68 | 0,56 | 0,75 | 0,89 | 0,87 | 2,55 | 0,64 | 0,78 | 1,02 |
| <i>Центральная агроклиматическая область</i> |                           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Борисов                                      | 0,61                      | 0,62 | 0,55 | 0,76 | 0,76 | 0,86 | 2,35 | 0,61 | 0,74 | 0,99 |
| Воложин                                      | 0,56                      | 0,64 | 0,58 | 0,70 | 0,73 | 0,96 | 2,65 | 0,64 | 0,75 | 0,99 |
| Лида                                         | 0,52                      | 0,62 | 0,53 | 0,74 | 0,69 | 0,91 | 2,38 | 0,59 | 0,72 | 0,98 |
| Минск                                        | 0,63                      | 0,67 | 0,60 | 0,82 | 0,73 | 0,84 | 2,43 | 0,65 | 0,77 | 1,04 |
| Могилев                                      | 0,58                      | 0,57 | 0,49 | 0,68 | 0,58 | 0,78 | 2,20 | 0,56 | 0,66 | 0,92 |
| Березино                                     | 0,56                      | 0,56 | 0,52 | 0,70 | 0,59 | 0,77 | 2,08 | 0,56 | 0,66 | 0,91 |
| Гродно                                       | 0,44                      | 0,48 | 0,41 | 0,76 | 0,55 | 0,77 | 1,62 | 0,46 | 0,60 | 0,78 |
| Новогрудок                                   | 0,63                      | 0,71 | 0,57 | 0,91 | 0,59 | 1,05 | 2,64 | 0,65 | 0,80 | 1,11 |
| Столбцы                                      | 0,55                      | 0,59 | 0,57 | 0,74 | 0,61 | 0,87 | 2,12 | 0,61 | 0,70 | 0,93 |
| Марьина Горка                                | 0,54                      | 0,56 | 0,49 | 0,73 | 0,60 | 0,72 | 2,04 | 0,54 | 0,66 | 0,88 |
| Кличев                                       | 0,54                      | 0,51 | 0,49 | 0,72 | 0,53 | 0,72 | 2,15 | 0,52 | 0,64 | 0,86 |
| Славгород                                    | 0,54                      | 0,59 | 0,54 | 0,71 | 0,57 | 0,82 | 2,19 | 0,58 | 0,68 | 0,92 |
| Костюковичи                                  | 0,55                      | 0,58 | 0,59 | 0,66 | 0,49 | 0,92 | 2,31 | 0,61 | 0,68 | 0,91 |
| Бобруйск                                     | 0,59                      | 0,55 | 0,48 | 0,68 | 0,50 | 0,68 | 2,15 | 0,53 | 0,63 | 0,88 |

Окончание табл. 4

| Агроклиматическая область, станция | Продолжительность периода |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                    | IV                        | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | V–VI | IV–X | ГОД  |
| Южная агроклиматическая область    |                           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Волковыск                          | 0,47                      | 0,63 | 0,48 | 0,77 | 0,56 | 0,87 | 1,69 | 0,57 | 0,66 | 0,88 |
| Барановичи                         | 0,53                      | 0,61 | 0,59 | 0,84 | 0,53 | 0,81 | 1,92 | 0,60 | 0,70 | 0,93 |
| Слуцк                              | 0,53                      | 0,56 | 0,57 | 0,68 | 0,58 | 0,74 | 1,96 | 0,58 | 0,66 | 0,89 |
| Жлобин                             | 0,55                      | 0,56 | 0,45 | 0,74 | 0,50 | 0,76 | 2,15 | 0,51 | 0,65 | 0,89 |
| Ганцевичи                          | 0,54                      | 0,65 | 0,59 | 0,81 | 0,60 | 0,79 | 1,85 | 0,63 | 0,71 | 0,92 |
| Ивацевичи                          | 0,52                      | 0,66 | 0,53 | 0,71 | 0,56 | 0,81 | 1,61 | 0,60 | 0,66 | 0,88 |
| Пружаны                            | 0,42                      | 0,52 | 0,41 | 0,64 | 0,52 | 0,80 | 1,41 | 0,48 | 0,58 | 0,76 |
| Октябрь                            | 0,54                      | 0,50 | 0,45 | 0,74 | 0,54 | 0,72 | 1,90 | 0,49 | 0,63 | 0,85 |
| Высокое                            | 0,46                      | 0,54 | 0,49 | 0,63 | 0,54 | 0,79 | 1,43 | 0,53 | 0,60 | 0,80 |
| Полесская                          | 0,44                      | 0,49 | 0,54 | 0,70 | 0,54 | 0,64 | 1,47 | 0,54 | 0,60 | 0,75 |
| Василевичи                         | 0,50                      | 0,54 | 0,44 | 0,63 | 0,52 | 0,73 | 1,87 | 0,49 | 0,60 | 0,83 |
| Житковичи                          | 0,54                      | 0,56 | 0,47 | 0,83 | 0,56 | 0,76 | 2,00 | 0,52 | 0,67 | 0,92 |
| Брагин                             | 0,38                      | 0,44 | 0,34 | 0,49 | 0,46 | 0,72 | 1,66 | 0,40 | 0,51 | 0,68 |
| Новая агроклиматическая область    |                           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Гомель                             | 0,46                      | 0,53 | 0,48 | 0,69 | 0,48 | 0,72 | 1,97 | 0,52 | 0,61 | 0,82 |
| Брест                              | 0,43                      | 0,58 | 0,47 | 0,61 | 0,60 | 0,78 | 1,28 | 0,54 | 0,60 | 0,78 |
| Пинск                              | 0,45                      | 0,50 | 0,49 | 0,74 | 0,53 | 0,77 | 1,52 | 0,51 | 0,62 | 0,82 |
| Мозырь                             | 0,51                      | 0,54 | 0,42 | 0,71 | 0,48 | 0,65 | 1,87 | 0,49 | 0,60 | 0,84 |

На рис. 6 приведены средние значения индекса аридности (AI) по агроклиматическим областям за теплый период и год на территории Беларуси за 2000–2022 гг. На указанном рисунке проведены красные линии, характеризующие различные градации увлажнения территории: 0,50 и менее – засушливые условия, требующие принятия мер для улучшения влагообеспеченности территории; 0,50–0,65 – слабозасушливые условия; 0,65–1,00 – умеренное увлажнение; 1,00 и более – сильное увлажнение и переувлажнение. Следует отметить, что в целом за год вся территории Беларуси попадает в градацию умеренного увлажнения (0,65–1,00). За теплый период (IV–X) большая часть территории Беларуси (Северная и Центральная агроклиматические области) также попадают в зону умеренного увлажнения. Наименьшие значения индекса аридности (AI) наблюдаются в апреле, мае, июне. Причем в Новой агроклиматической области в апреле и июне значения индекса аридности (AI) меньше 0,50. Июль с большим количеством осадков по всем агроклиматическим областям характеризуется умеренным увлажнением. Наиболее увлажненным месяцем за теплый период оказался октябрь с градациями сильного увлажнения от 1,66 в Новой агроклиматической области до 2,88 – в Северной (за счет уменьшения температуры воздуха и испаряемости и увеличения количества осадков по сравнению с сентябрем). Полученные значения индекса аридности (AI) для мая – июня показывают, что для большей части территории этот период характеризуется как слабозасушливый. Детализация значений индекса аридности (AI) по отдельным пунктам позволяет оценить дисперсию наблюдаемых значений увлажнения территории. Как показали проведенные исследования, индекс аридности (AI) на территории Беларуси за 2000–2022 гг. в мае – июне в отдельные годы изменялся от 0,08 на станции Мозырь (2015 г.) до 1,46 на станции Полесская (2013 г.).

Принято считать, что значения индекса аридности (AI) менее 0,50 являются границей недостаточного увлажнения, при которой необходимо проводить мероприятия по улучшению влагообеспеченности территории. В основном это утверждение касается годовых значений индекса аридности (AI). За более короткий период времени, например, месяц, следует учитывать состояние растений с учетом запасов продуктивной влаги в почве.

Заслуживает внимания показатель атмосферного увлажнения (дефицит испарения –  $\Delta E$ ), предложенный А. И. Будаговским [1]:

$$\Delta E = E_0 - E,$$

где  $E_0$  – испаряемость;  $E$  – испарение.

Этот показатель увлажнения находится в тесной связи с состоянием растений и урожаем. Чем больше  $\Delta E$ , тем засушливее условия. Впервые рассчитанное для территории Беларуси пространственное распределение этого показателя для мая – июня за 2000–2022 гг. показало на большей части территории сходство с индексом аридности (AI) (рис. 7).

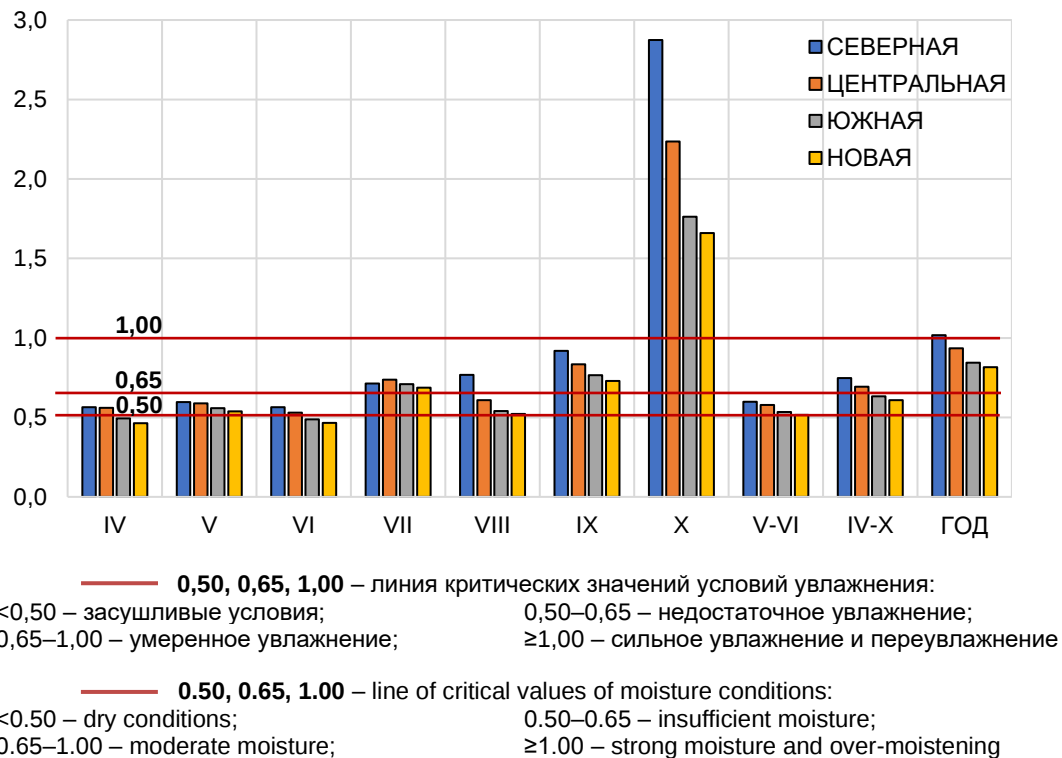


Рис. 6. Средние значения индекса аридности по Северной, Центральной, Южной и Новой агроклиматическим областям за теплый период, май – июнь и год на территории Беларуси, 2000–2022 гг.

Fig. 6. Average values of the aridity index for the Northern, Central, Southern, and New agroclimatic regions for the warm period, May – June and the year in Belarus, 2000–2022



Рис. 7. Пространственное распределение показателя атмосферного увлажнения (по А. И. Будаговскому), май – июнь 2000–2022 гг.

Fig. 7. Spatial distribution of the atmospheric humidification index (according to A. I. Budagovsky), May – June 2000–2022

**Выводы.**

1. Анализ условий увлажнения территории Беларуси по различным показателям, за май – сентябрь 1991–2020 гг. и май – июнь 2000–2022 гг. показал неоднозначность полученных оценок увлажнения территории различными показателями за один и тот же период.

2. Исследованы значения испаряемости, рассчитанные различными методами. На основании проведенных исследований в качестве показателя атмосферного увлажнения на данном этапе агроклиматического районирования для территории Беларуси предложен уточненный индекс аридности за наиболее критический период в развитии растений – май – июнь.

3. Рассчитаны значения индекса аридности по пунктам наблюдений и агроклиматическим областям и дана их оценка с учетом уточненных для территории Беларуси градаций. Показаны особенности распределения значений индекса аридности по месяцам вегетационного периода, теплый период (IV–X) и год.

4. В целом за год вся территории Беларуси попадает в градацию умеренного увлажнения (0,65–1,00). За теплый период (IV–X) большая часть территории Беларуси (Северная и Центральная агроклиматические области) также попадают в зону умеренного увлажнения. Наименьшие значения индекса аридности (AI) наблюдаются в апреле, мае и июне, причем в Новой агроклиматической области в апреле и июне значения индекса аридности (AI) меньше 0,50, что характеризует засушливые условия, требующие принятия мер для улучшения влагообеспеченности территории.

**Список использованных источников**

1. Грингоф, И. Г. Основы сельскохозяйственной метеорологии / И. Г. Грингоф, А. Д. Клеценко. – Обнинск : ВНИИГМИ-МЦД, 2011. – Т. 1 : Потребность сельскохозяйственных культур в агрометеорологических условиях и опасные для сельскохозяйственного производства погодные условия. – 808 с.
2. Черенкова, Е. А. Количественные оценки атмосферных засух в федеральных округах европейской территории России / Е. А. Черенкова // Известия РАН. Серия географическая. – 2013. – № 6. – С. 76–85.
3. Оценка тенденций изменения засушливости для территории Южного Урала в период 1960–2019 гг. с использованием различных методов / Д. Ю. Васильев, В. В. Водопьянов, В. А. Семенов, А. А. Чибилев // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2020. – Т. 494, № 1. – С. 91–96.
4. Галимова, Р. Г. Агроклиматические ресурсы Республики Башкортостан / Р. Г. Галимова, Ю. П. Переведенцев, Г. А. Яманаев // Вестник ВГУ. Серия «География. Геоэкология». – 2019. – № 3. – С. 29–39.
5. Черенкова, Е. А. О сравнимости некоторых количественных показателей засухи / Е. А. Черенкова, А. Н. Золотокрылин // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2016. – № 2. – С. 79–94. – DOI: 10.21513/2410-8758-2016-2-79-94.
6. Задорнова, О. И. Сравнительная характеристика зарубежных индексов оценки засух по основным зерносеющим субъектам европейской территории России / О. И. Задорнова // Труды Главной геофизической обсерватории имени А. И. Воейкова. – 2015. – № 578. – С. 126–139.
7. О возможности использования стандартизированного индекса осадков для выявления засух и в прогнозах количественной оценки урожайности зерновых и зернобобовых культур / А. И. Страшная, В. А. Тищенко, О. В. Береза, Н. А. Богомолова // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. – 2015. – № 357. – С. 81–97.
8. Черенкова, Е. А. Испаряемость в количественных показателях климата / Е. А. Черенкова, Н. А. Шумова // Аридные экосистемы. – 2007. – Т. 13, № 33–34. – С. 55–67.
9. Кайгарадаў, А. І. Клімат БССР, заходняй Беларусі і сумежных краін / А. І. Кайгарадаў. – Мн. : Сельгассектар, 1934. – Т. II. – 274 с.
10. Агроклиматический справочник / под ред. Н. А. Малишевской. – Мн. : Урожай, 1970. – 248 с.
11. Шкляр, А. Х. Климатические ресурсы Белоруссии и их использование в сельском хозяйстве / А. Х. Шкляр. – Мн. : Выш. шк., 1973. – 430 с.
12. Оценка влияния урбанизации и мелиорации на климатические, водные, земельные и лесные ресурсы Беларуси : отчет по НИР (заключ.) / Белгидромет. – Мн., 2017. – 132 с. – № ГР 20171431.
13. Шашко, Д. И. Агроклиматическое районирование СССР / Д. И. Шашко. – М. : Колос, 1967. – 335 с.
14. Мировой агроклиматический атлас / под ред. И. А. Гольцберг. – М. ; Л. : Гидрометеиздат, 1972. – 115 с.
15. Адаменко, Т. І. Агрокліматичне зонування території України з врахуванням зміни клімату / Т. І. Адаменко. – К. : ВЕГО «МАМА-86», 2014. – 20 с.
16. Семенова, І. Г. Синоптичні та кліматичні умови формування посух в Україні / І. Г. Семенова. – Харків : ФОП Панов А. М.; 2017. – 236 с.
17. Агроклиматическое районирование сельскохозяйственных культур в Северном Казахстане / С. С. Байшоланов, А. Р. Жакиева, М. С. Габбасова, Д. А. Чернов // Гидрометеорология и экология. – 2017. – № 3. – С. 17–28.

18. Бровка, Ю. А. Изменение гидротермического коэффициента на территории Беларуси и повторяемости экстремальных условий увлажнения в период потепления климата / Ю. А. Бровка, И. В. Буяков // Природопользование. – 2020. – № 2. – С. 5–18.
19. Пространственно-временные изменения почвенных засух на территории Белорусского Полесья в условиях современного изменения климата / В. И. Мельник, Н. Г. Пискунович, И. В. Буяков [и др.] // Природные ресурсы. – 2021. – № 1. – С. 15–21.
20. Данилович, И. С. Повторяемость засух на территории Беларуси в связи с атмосферной циркуляцией в Атлантико-Европейском секторе / И. С. Данилович, Ю. А. Гледко, И. В. Тарасевич // Метеорология и гидрология. – 2023. – № 9. – С. 61–71. – DOI: 10.52002/0130-2906-2023-9-61-71.
21. Логинов, В. Ф. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, В. И. Мельник. – 2-е изд., доп. – Мн. : Энциклопедикс, 2020. – 264 с.
22. Червань, А. Н. Оценка и внутрорегиональные различия уязвимости почв сельскохозяйственных земель Белорусского Полесья к засухам в условиях потепления климата / А. Н. Червань, В. И. Мельник, В. М. Яцухно // Доклады НАН Беларуси. – 2022. – Т. 66, № 4. – С. 444–453.
23. Мельник, В. И. Оценка увлажнения почв сельскохозяйственных земель Белорусского Поозерья в условиях современного изменения климата / В. И. Мельник, И. В. Буяков, Т. Г. Шумская // Природопользование. – 2025. – № 1. – С. 15–21.
24. Мельник, В. И. К вопросу изучения засух в Беларуси / В. И. Мельник, В. М. Яцухно // Географія : навук.-метад. часопіс. – 2023. – № 6. – С. 9–21.
25. Лысенко, С. А. Оценка проявления засух на сельскохозяйственных землях Белорусского Поозерья с использованием данных дистанционного зондирования Земли / С. А. Лысенко, И. В. Буяков, В. И. Мельник // Природопользование. – 2025. – № 2. – С. 19–35.
26. Юдыцкая, К. С. Использование данных дистанционного зондирования для оценки условий увлажнения территории Брестской области / К. С. Юдыцкая, В. И. Мельник // Природная среда Полесья и научно-практические аспекты рационального ресурсопользования : сб. науч. работ XII Междунар. науч. конф., 8–10 окт. 2025 г., Брест / Полесский аграрно-экологический институт ; редкол.: Н. В. Михальчук (гл. ред.) [и др.]. – Брест : Альтернатива, 2025. – С. 157–160.
27. Бровка, Ю. А. Особенности атмосферного увлажнения на территории Беларуси в летний период при современном изменении климата / Ю. А. Бровка // Природные ресурсы. – 2024. – № 2. – С. 5–16.
28. Сумак, Е. Н. Обзор современных методов исследования и мониторинга засух / Е. Н. Сумак // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. – 2024. – № 2. – С. 91–106.
29. Лысенко, С. А. Изменение климата Беларуси: анализ, прогноз, адаптация (аналитическая записка) / С. А. Лысенко ; НАН Беларуси, Институт природопользования. – Мн., 2025. – 71 с.
30. Лысенко, С. А. Оценки современных изменений биоклиматических параметров почвенно-растительного покрова Гомельской области / С. А. Лысенко, М. А. Хитриков // Природные ресурсы. – 2024. – № 2. – С. 17–28.
31. World Atlas of Desertification. – Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2018. – 248 p.

## References

1. Gringof I. G. *Osnovy sel'skohozyajstvennoj meteorologii Tom 1. Potrebnost' sel'skohozyajstvennykh kul'tur v agrometeorologicheskikh usloviyakh i opasnye dlya sel'skohozyajstvennogo proizvodstva pogodnye usloviya* [Fundamentals of agricultural meteorology. Vol. 1. The need of agricultural crops in agrometeorological conditions and dangerous weather conditions for agricultural production]. Obninsk, FGBU VNIIGMI-MCD, 2011, 808 p. (in Russian)
2. Cherenkova E. A. *Kolichestvennye ocenki atmosferykh zasuh v federal'nykh okrugakh evropejskoj territorii Rossii* [Quantitative estimates of atmospheric droughts in the federal districts of the European territory of Russia]. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya = News of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series*, 2013, no 6, pp. 76–85. (in Russian)
3. Vasil'ev D. Yu., Vodopyanov V. V., Semenov V. A., Chibilev A. A. *Ocenka tendencij izmeneniya zasushlivosti dlya territorii Yuzhnogo Urala v period 1960–2019 gg. s ispol'zovaniem razlichnykh metodov* [Assessment of trends in aridity for the territory of the Southern Urals in the period 1960–2019 using various methods]. *Doklady Rossijskoj akademii nauk. Nauki o Zemle = Reports of the Russian Academy of Sciences. Earth Sciences*, 2020, vol. 494, no. 1, pp. 91–96. (in Russian)
4. Galimova R. G., Perevedencev Yu. P., Yamanaev G. A. *Agroklimaticheskie resursy Respubliki Bashkortostan* [Agroclimatic resources of the Republic of Bashkortostan]. *Vestnik VGU. Seriya Geografiya. Geoekologiya = Bulletin of the VSU. Geography series. Geoecology*, 2019, no. 3, pp. 29–39. (in Russian)
5. Cherenkova E. A., Zolotokrylin A. N. *O sravnimosti nekotorykh kolichestvennykh pokazatelej zasuhi* [On comparability of some quantitative indicators of drought]. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya = Fundamental and Applied Climatology*, 2016, no. 2, pp. 79–94. – DOI: 10.21513/2410-8758-2016-2-79-94. (in Russian)

6. Zadornova O. I. *Sravnitel'naya harakteristika zarubezhnyh indeksov ocenki zasuh po osnovnym zernoseyushchim sub'ektam evropejskoj territorii Rossii* [Comparative characteristics of foreign drought assessment indices for the main grain-growing regions of the European territory of Russia]. *Trudy Glavnoj geofizicheskoy observatorii imeni A. I. Voejkova* [Proceedings of the Main Geophysical Observatory named after A. I. Voeikov], 2015, vol. 578, pp. 126–139. (in Russian)
7. Strashnaya A. I., Tishchenko V. A., Bereza O. V., Bogomolova N. A. *O vozmozhnosti ispol'zovaniya standartizirovannogo indeksa osadkov dlya vyyavleniya zasuh i v prognozah kolichestvennoj ocenki urozhajnosti zernovyh i zernobobovyh kul'tur* [On the possibility of using a standardized precipitation index to identify droughts and in forecasts for quantifying grain and leguminous crop yields]. *Trudy Gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo centra Rossijskoj Federacii* [Proceedings of the Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation], 2015, vol. 357, pp. 81–97. (in Russian)
8. Cherenkova E. A., Shumova N. A. *Isparyaemost' v kolichestvennyh pokazatelyah klimata* [Evaporation in quantitative terms of climate] *Aridnye ekosistemy = Arid Ecosystems*, 2007, vol. 13, no. 33–34, pp. 55–67. (in Russian)
9. Kajgaradau A. I. *Klimat BSSR, zahodnyaj Belarusi i sumezhnyh krain. T. II* [Climate of the BSSR, Western Belarus and neighboring countries. Vol. II]. Minsk, Sel'gassektor Publ., 1934, 274 p. (in Belarussian)
10. *Agroklimaticheskij spravochnik* [Agroclimatic reference]. Minsk, Urozhaj Publ., 1970, 248 p. (in Russian)
11. Shklyar A. H. *Klimaticheskie resursy Belorussii i ih ispol'zovanie v sel'skom hozyajstve* [Climatic resources of Belarus and their use in agriculture]. Minsk, Vyshejschaya Shkola Publ., 1973, 430 p. (in Russian)
12. *Ocenka vliyaniya urbanizacii i melioracii na klimaticheskie, vodnye, zemel'nye i lesnye resursy Belarusi*. [Assessment of the impact of urbanization and land reclamation on the climatic, water, land and forest resources of Belarus]. *Otchet o NIR* [Research report]. Belgidromet, Minsk, 2017, 132 p. (in Russian)
13. Shashko, D. I. *Agroklimaticheskoe rajonirovanie SSSR* [Agroclimatic zoning of the USSR]. Moskva, Kolos Publ., 1967, 335 p. (in Russian)
14. *Mirovoj agroklimaticheskij atlas* [The World agroclimatic Atlas]. Moskva ; Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1972, 115 p. (in Russian)
15. Adamenko T. I. *Agroklimatichne zonuvannya teritorii Ukraini z vrahuvannyam zmini klimatu* [Agroclimatic zoning of the territory of Ukraine, taking into account climate change], Kyiv, VEGO "MAMA-86" Publ., 2014, 20 p. (in Ukrainian)
16. Semenova I. G. *Sinoptichni ta klimatichni umovi formuvannya posuh v Ukraini* [Synoptic and climatic conditions of drought formation in Ukraine]. Harkiv, FOP Panov A. M. Publ., 2017, 236 p. (in Ukrainian)
17. Bajsholanov S. S., Zhakieva A. R., Gabbasova M. S., Chernov D. A. *Agroklimaticheskoe rajonirovanie sel'skohozyajstvennyh kul'tur v Severnom Kazahstane* [Agroclimatic zoning of agricultural crops in Northern Kazakhstan] *Gidrometeorologiya i ekologiya = Hydrometeorology and Ecology*, 2017, no. 3, pp. 17–28. (in Russian)
18. Brovka Yu. A., Buyakov I. V. *Izmenenie gidrotermicheskogo koefficienta na territorii Belarusi i povtoryaemosti ekstremal'nyh uslovij uvlazhneniya v period potepleniya klimata* [Changes in the hydrothermal coefficient on the territory of Belarus and the recurrence of extreme humidification conditions during the period of climate warming]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2020, no. 2, pp. 5–18. (in Russian)
19. Mel'nik V. I., Piskunovich N. G., Buyakov I. V., Yacuhno V. M., Shumskaya T. G. *Prostranstvenno-vremennye izmeneniya pochvennyh zasuh na territorii Belorusskogo Poles'ya v usloviyah sovremennogo izmeneniya klimata* [Spatial and temporal changes in soil droughts in the territory of the Belarusian Polesie under the conditions of modern climate change] *Prirodnye resursy = Natural Resources*, 2021, no 1, pp. 15–21. (in Russian)
20. Danilovich I. S., Gledko Yu. A., Tarasevich I.V. *Povtoryaemost' zasuh na territorii Belarusi v svyazi s atmosfernoj cirkulyaciej v Atlantiko-Evropejskom sektore* [Recurrence of droughts in Belarus due to atmospheric circulation in the Atlantic-European sector]. *Meteorologiya i gidrologiya = Meteorology and Hydrology*, 2023, no 9, pp. 61–71, DOI: 10.52002/0130-2906-2023-9-61-71. (in Russian)
21. Loginov V. F., Lysenko S. A., Mel'nik V.I *Izmenenie klimata Belarusi: prichiny, posledstviya, vozmozhnosti regulirovaniya* [Climate change in Belarus: causes, consequences, possibilities of regulation]. Minsk, Enciklopediks Publ., 2020, 264 p. (in Russian)
22. Chervan' A. N., Mel'nik V. I., Yacuhno V. M. *Ocenka i vnutrireional'nye razlichiya uyazvimosti pochv sel'skohozyajstvennyh zemel' Belorusskogo Poles'ya k zasuham v usloviyah potepleniya klimata* [Assessment and intra-regional differences in the vulnerability of agricultural soils of the Belarusian Polesie to droughts in the context of climate warming]. *Doklady Nacional'noj akademii nauk Belarusi = Reports of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2022, vol. 66, no. 4, pp. 444–453. (in Russian)
23. Mel'nik V. I., Buyakov I. V., Shumskaya T. G. *Ocenka uvlazhneniya pochv sel'skohozyajstvennyh zemel' Belorusskogo Poozer'ya v usloviyah sovremennogo izmeneniya klimata* [Assessment of soil moisture in agricultural lands of the Belarusian Lake district in the context of modern climate change]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2025, no. 1, pp. 15–21. (in Russian)
24. Mel'nik V. I., Yacuhno V. M. *K voprosu izucheniya zasuh v Belarusi* [On the issue of studying droughts in Belarus]. *Geografiya: navukova-metadychny chasopis = Geography: Scientific and Methodological Journal*, 2023, no. 6, pp. 9–21. (in Russian)

25. Lysenko S. A., Buyakov I. V., Mel'nik V. I. *Ocenka proyavleniya zasuh na sel'skohozyajstvennyh zemlyah Belorusskogo Poozer'ya s ispol'zovaniem dannyh distancionnogo zondirovaniya Zemli* [Assessment of the manifestation of droughts on agricultural lands of the Belarusian Lake district using remote sensing data]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2025, no. 2, pp.19–35. (in Russian)
26. Yudytskaya K. S., Mel'nik V. I. *Ispol'zovanie dannyh distancionnogo zondirovaniya dlya ocenki uslovij uvlazhneniya territorii Brestskoy oblasti* [Using remote sensing data to assess the humidification conditions of the Brest region] XII Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya "Prirodnaya sreda Poles'ya i nauchno-prakticheskie aspekty racional'nogo resursopol'zovaniya" [XII International Scientific Conference "Natural environment of Polesie and scientific and practical aspects of rational resource management"], Brest, 2025, pp.157–160. (in Russian)
27. Brovka Yu. A. *Osobennosti atmosfernogo uvlazhneniya na territorii Belarusi v letnij period pri sovremennom izmenenii klimata* [Features of atmospheric humidification on the territory of Belarus in the summer period with modern climate change]. *Prirodnye resursy = Natural Resources*, 2024, no. 2, pp. 5–16. (in Russian)
28. Sumak E. N. *Obzor sovremennyh metodov issledovaniya i monitoringa zasuh* [Review of modern methods of drought research and monitoring]. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Geografiya. Geologiya. = Journal of the Belarusian State University. Geography. Geology*, 2024, no. 2, pp. 91–106. (in Russian)
29. Lysenko S. A. *Izmenenie klimata Belarusi: analiz prognoz adaptatsiya* (analiticheskaya zapiska) [Climate change in Belarus: analysis forecast adaptation (analytical note)]. *Nacional'naya akademiya nauk Belarusi, Institut prirodopol'zovaniya NAN Belarusi* [National Academy of Sciences of Belarus, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus], Minsk, 2025, 71 p. (in Russian)
30. Lysenko S. A. Hitrikov M. A. *Ocenki sovremennyh izmenenij bioklimaticheskikh parametrov pochvenno-rastitel'nogo pokrova Gomel'skoy oblasti* [Estimates of modern changes in the bioclimatic parameters of the soil and vegetation cover of the Gomel region]. *Prirodnye resursy = Natural Resources*, 2024, no. 2, pp.17–28. (in Russian)
31. World Atlas of Desertification. Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2018, 248 p.

#### Информация об авторах

*Мельник Виктор Иванович* – ведущий научный сотрудник, кандидат географических наук, доцент, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: v.melnik2016@mail.ru

*Юдыцкая Ксения Сергеевна* – младший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: kseniya.yudytskaya@gmail.com

#### Information about the authors

*Viktar I. Melnik* – Ph. D. (Geography), Associate Professor, Leading Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny St., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: v.melnik2016@mail.ru

*Kseniya S. Yudytskaya* – Junior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny St., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: kseniya.yudytskaya@gmail.com

---