

## Оценка метеорологической засухи на основе стандартизированного индекса осадков и испаряемости

А. И. Павлова✉

Новосибирский государственный университет экономики и управления, Новосибирск, Россия

✉E-mail: [annstab@mail.ru](mailto:annstab@mail.ru)

**Аннотация.** Для мониторинга метеорологической засухи используют различные климатические индексы, среди которых наиболее известны стандартизированный индекс осадков и стандартизированный индекс осадков и испаряемости (SPEI). **Цель** исследований состоит в оценке условий увлажненности вегетационного периода зерновых культур агроландшафтов Новосибирской области на основе стандартизированного индекса осадков и испаряемости. **Методы.** В исследовании были использованы методы обработки больших данных, статистического анализа. **Научная новизна** состоит в оценке увлажненности и интенсивности засухи за вегетационный период зерновых культур на основе климатического индекса осадков и испаряемости, а также выявлении отклонений средней приземной температуры воздуха и осадков от нормы в сильно засушливые и экстремально засушливые годы. **Результаты.** Выполнена оценка агроклиматических условий увлажненности вегетационного периода зерновых культур на основе временного анализа стандартизированного индекса осадков и испаряемости на примере Новосибирской области. На основании статистического анализа изменения величины SPEI разного временного разрешения от одного месяца до года за период с 1970 по 2021 гг. на примере Новосибирской области выделены годы, характеризующиеся сильной и экстремальной засухой. Интенсивность засухи на территории центрально-лесостепного Приобского агроландшафта неравномерна в течение вегетационного периода. Интенсивность засухи по месяцам зависит не только от количества выпавших осадков, но и от отклонения приземной температуры воздуха от нормы.

**Ключевые слова:** сельскохозяйственные земли, стандартизированный индекс осадков и испаряемости, засуха, зерновые культуры, урожайность

**Для цитирования:** Павлова А. И. Оценка метеорологической засухи на основе климатического стандартизированного индекса осадков и испаряемости // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 05. С. 605–616. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-05-605-616>.

**Дата поступления статьи:** 15.11.2023, **дата рецензирования:** 09.12.2023, **дата принятия:** 27.02.2024.

## Estimation of meteorological drought based on a Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

A. I. Pavlova✉

Novosibirsk State University of Economics and Management, Novosibirsk, Russia

✉E-mail: [annstab@mail.ru](mailto:annstab@mail.ru)

**Abstract.** Various climatic indices are used to monitor meteorological drought, among which the best known are the standardized precipitation index and the **standardized precipitation evapotranspiration index** (SPEI). **The purpose** of the research is to assess the conditions of moisture content of the growing season of grain crops in agrolandscapes of the Novosibirsk region on the basis of standardised precipitation and evapotranspiration index. **Methods.** Methods of big data processing, statistical analysis were used in the study. **The scientific novelty** consists in assessing the humidity and intensity of drought during the growing season of grain crops based

on the climate index of precipitation and evaporation, as well as identifying deviations of the average surface air temperature and precipitation from the norm in very dry and extremely dry years. **Results.** The estimation of agroclimatic conditions of moisture content of vegetation period of grain crops on the basis of time analysis of SPEI on the example of Novosibirsk region was carried out. On the basis of statistical analysis of changes in the SPEI value of different time resolution from one month to a year for the period from 1970 to 2021 on the example of the Novosibirsk region, the years characterised by severe and extreme drought were identified. Drought intensity in the central forest-steppe Priobskiy agricultural landscape is uneven during the growing season. The intensity of drought by month depends not only on the amount of precipitation, but also on the deviation of surface air temperature from the norm.

**Keywords:** agricultural lands, standardized precipitation and evaporation index, drought, grain crops, productivity

**For citation:** Pavlova A. I. Estimation of meteorological drought based on a Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (05): 605–616. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-05-605-616>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 15.11.2023, **date of review:** 09.12.2023, **date of acceptance:** 27.02.2024.

### Постановка проблемы (Introduction)

Согласно сведениям Всемирной метеорологической организации [1], на земном шаре наблюдается потепление климата. Средняя глобальная температура приземного воздуха за прошедшее столетие увеличилась на 1,2 °С и составила +14,9 °С. Скорость потепления климата значительная: за период с 1976 по 2020 год температура приземного воздуха увеличилась на 0,8 °С. На территории РФ изменение климата характеризуется особенностями. Потепление климата на суше происходит быстрее, чем над водной поверхностью Мирового океана, почти в два раза и составляет 0,51 °С за 10 лет [2]. С потеплением климата увеличилось количество и продолжительность метеорологических засух. Засуха как одно из негативных погодных явлений существенно влияет на продуктивность сельскохозяйственных культур [3]. Это сложное явление влияет на доступность воды в почве, развитие сельскохозяйственных культур и их продуктивность, экологическую устойчивость экосистем. Вследствие этого засуха – опасное явление, приносящее социально-экономические и экологические потери от регионального масштаба до глобального. Засуха в отличие от прочих гидрометеорологических явлений погоды затрагивает вопросы продовольственной безопасности людей и оказывает большое влияние не только на величину урожайности культур, но и на качество урожая. С повышением глобальной температуры воздуха повторяемость засухи в различных регионах земного шара возросла. В дальнейшем при значительном росте температуры воздуха ожидается увеличение интенсивности засух в ближайшие десятилетия в южных и средних широтах. Засуха связана с продолжительным периодом с характерными засушливыми погодными условиями, при которых наблюдаются недостаток воды и резкое уменьшение урожайности культур.

В Западной Сибири территориальное распределение засух и их повторяемость различны. В последнее десятилетие наиболее часто наблюдается атмосферная засуха с середины мая по последнюю декаду июня [2; 3]. При оценке агроклиматических ресурсов используют сумму активных температур воздуха и осадков за период вегетации сельскохозяйственных культур, среднюю температуру самого холодного и самого теплого месяца календарного года и другие показатели. Общая оценка увлажненности территории осуществляется с помощью различных коэффициентов и индексов, вычисляемых на основе среднесезонных метеорологических наблюдений. В отечественной литературе часто используют гидротермический коэффициент увлажнения [4; 5], для сельскохозяйственной продуктивности климата – биоклиматический потенциал территории, определяющий рост и развитие растений. Выделяют четыре типа засухи: метеорологические, сельскохозяйственные, гидрологические и социально-экономические. Существующие методы оценки засухи основаны на учете показателей, увлажненности территории в течении разного интервала и изучении частоты засухи. Полученная информация служит для мониторинга засухи и оценки ее продолжительности. Научные исследования, посвященные анализу агроклиматических ресурсов, оценке и мониторингу метеорологической засухи на основе данных разного временного разрешения, наиболее актуальны в настоящее время.

В зарубежной литературе разработаны различные климатические индексы, применяемые для мониторинга засух [6–9]. Примерами таких индексов являются стандартизированный индекс осадков (Standardized Precipitation Index, SPI), индекс суровости засухи Палмера (Palmer Drought Severity Index, PDSI), стандартизированный индекс осадков и эвапотранспирации (Standardized Precipitation

Evapotranspiration Index, SPEI), индекс растительного покрова (Vegetation Condition Index, VCI), сезонный индекс условий роста растений (Monthly Vegetation Condition Index, MVCI). Наиболее известны стандартизированный индекс осадков и стандартизированный индекс осадков и испаряемости [10–13], встречающиеся в более чем 80 работах, посвященных оценке водообеспеченности территории и прогнозированию засухи на глобальном и региональных уровнях [11–13]. Метод оценки SPI заключается в оценке возможности возникновения засухи независимо от местоположения, времени года и климата местности. Однако при вычислениях климатического индекса SPI учитываются только сведения об осадках.

Цель исследований состоит в оценке засухи применительно к отдельным периодам вегетации зерновых культур путем временного анализа стандартизированного индекса осадков и испаряемости.

#### **Методология и методы исследования (Methods)**

Стандартизированный индекс осадков и испаряемости (SPEI) является расширением стандартизированного индекса осадков (SPI). Стандартизированный индекс осадков используется для мониторинга засух во многих странах мира. В отличие индекса суровости климата Палмера вычисление SPI и SPEI возможно на основе разного временного масштаба. Это позволяет составить прогноз и оценить последствия для разных типов засухи [13].

Индекс интенсивности засухи Палмера считают одним из известных индексов для мониторинга засухи. Суть методики вычисления индекса интенсивности засухи Палмера сводится к уравнению водного баланса относительно расхода и прихода водных масс. Данный индекс позволяет учитывать условия изменения увлажненности территории в виде средней температуры воздуха за месяц и количества выпадающих осадков, а также сведений о влагоемкости верхнего почвенного слоя. Индекс используется для мониторинга интенсивности засухи для целей сельского хозяйства. К достоинствам методики индекса Палмера относят возможность выявления существенных отклонений в погодных условиях, например, для влажной или сухой. Среди недостатков климатического индекса выделяют низкую способность к оценке краткосрочной засухи и сложность сбора исходных данных о влагоемкости почвы, промерзании почвы.

Однако в оценке и мониторинге засухи с помощью SPI учитываются только осадки. Индекс SPI может быть рассчитан для разных интервалов от одного месяца до календарного года и более. Данный индекс рекомендован к использованию Всемирной метеорологической организацией. К достоинствам SPI можно отнести удобство в использовании, ко-

торое состоит в учете только величины осадков. Методика вычисления индекса SPI не предполагает использование сведений о географическом местоположении измеряемых исходных данных. Стандартизированный индекс осадков учитывает только многолетнее распределение осадков. Количественная оценка дефицита осадков осуществляется относительно среднего многолетнего значения. Индекс принимает положительные и отрицательные значения. Положительные значения используют для характеристики влажных условий. Отрицательные значения направлены на описание засушливых погодных условий. В частности, если значение индекса менее  $-2$  ( $SPI \leq -2$ ), то его используют для характеристики экстремальной засухи.

К числу недостатков можно отнести следующие. Стандартизированный индекс осадков не позволяет учитывать другие составляющие уравнения водного баланса. При расчете климатического индекса SPI не учитываются изменения температуры приземного воздуха. Как показывают последние исследования в области мониторинга засухи, в чрезвычайно засушливые и экстремально засушливые годы важно учитывать изменения температуры воздуха и величины испаряемости [10; 13]. В условиях глобального потепления при постепенном увеличении средней месячной температуры приземного воздуха при оценке и прогнозировании засухи важно учитывать изменение температуры воздуха.

Использование SPEI при определении засухи позволяет учитывать осадки и величину потенциальной эвапотранспирации. В отличие от SPI стандартизированный индекс осадков и испаряемости SPEI отражает основное влияние повышения температуры на потребность растений в воде. Методика вычисления климатического индекса SPEI основана на использовании функции плотности распределения значений разности осадков и испаряемости.

Исследования выполнены на примере Новосибирской области, расположенной в средних широтах Северной Евразии. Область имеет значительную протяженность с запада на восток (642 км) и с севера на юг (444 км). Большая часть территории области относится к юго-востоку Западно-Сибирской равнины, незначительная восточная часть расположена в пределах гор Южной Сибири [14].

В качестве материалов исследований служили сведения гидрометеослужбы РФ [15], сведения Global Precipitation Measurement GPM [16] за период с 1970 по 2022 год о приземной температуре воздуха на высоте два метра от земной поверхности, количестве осадков и относительной влажности воздуха, а также результаты работы [17].

**Результаты исследований**

В ходе исследований получены значения индексов SPEI для метеостанций Новосибирской области разного временного разрешения от одного месяца до двух лет. Далее в работе приведены результаты для центрально-лесостепного Приобского агроландшафта, расположенного в центре Новосибирской области (рис. 1). Здесь получили распространение наиболее плодородные почвы – черноземы обыкновенные, черноземы выщелоченные и лугово-черноземные почвы. Агроландшафт расположен на хорошо дренированном эрозионно-аккумулятивном плато. Территория агроландшафта относится к повышенной равнине, к третьей высотной ступени рельефа Новосибирской области. Равнина

расчленена гидрографической сетью рек, образуемые водоразделы ориентированы в направлении долины р. Обь с характерными абсолютными высотами от 150 на севере и 300 м на юге, в долинах рек абсолютные высоты понижаются (85–100 м). В северной части агроландшафта преобладает плоский равнинный и плоско-заболоченный типы рельефа с углами наклона рельефа от 1 до 2,5°. На юге центрально-лесостепного Приобского агроландшафта рельеф представляет собой слабоволнистую равнину с пологими склонами с углами наклона рельефа 3–5°, распространены также крутые склоны. Глубина вреза рек возрастает к югу агроландшафта от 10 м до 60 м.

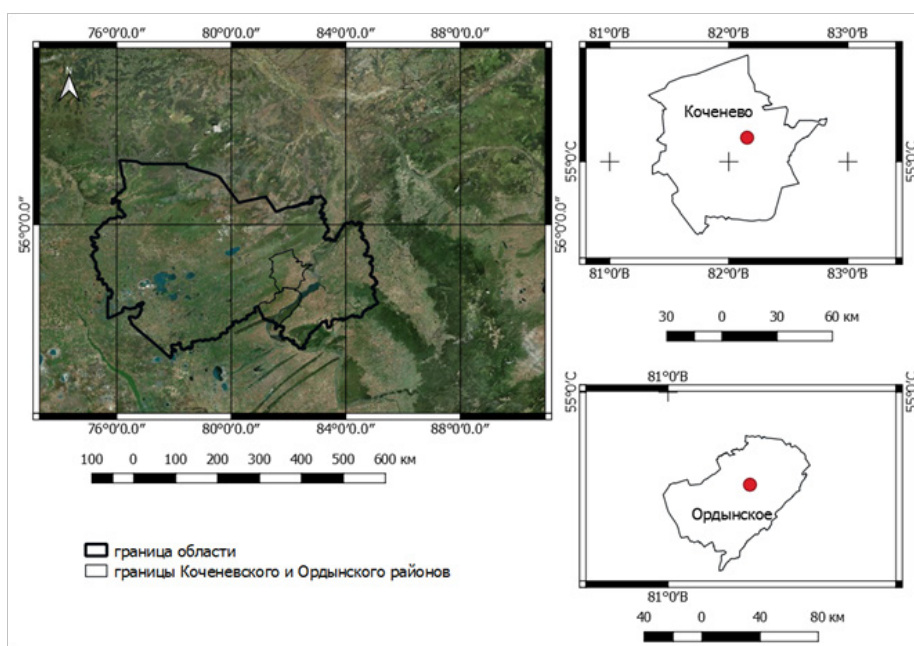


Рис. 1. Территория исследований

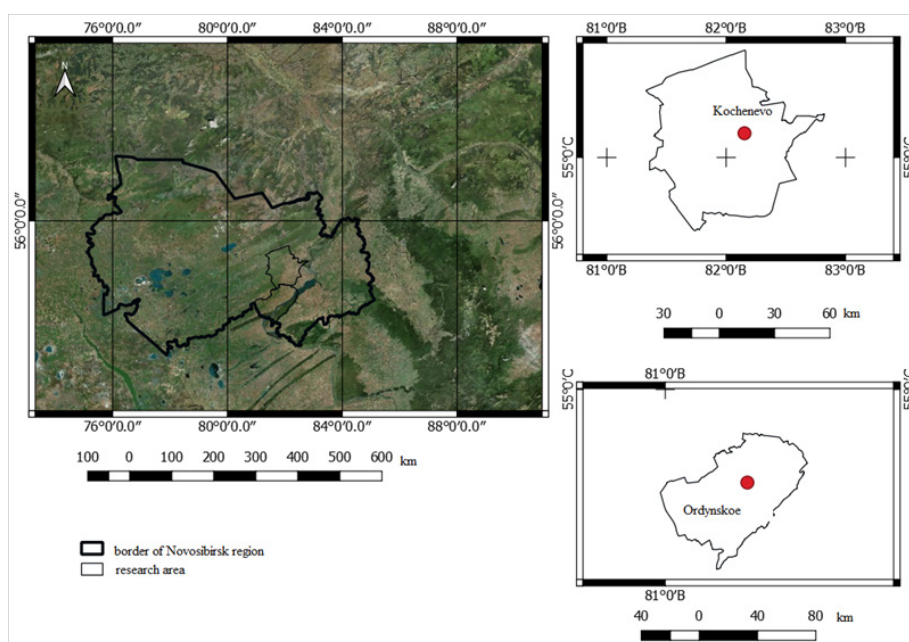


Fig. 1. Research area



Графическое отображение изменения SPEI за период с 1970 по 2021 год разных интервалов времени для метеостанций Коченево и Ордынское представлено на рис. 2 и 3. Метеостанция Коченево расположена на севере центрально-лесостепного Приобского агроландшафта с географическими координатами 55°01'18" с. ш., 82°12'07" в. д. Метеостанция Ордынское находится на юге агроландшафта и имеет географические координаты 54°21'56" с. ш., 81°53'57" в. д. Более темным цветом отображены отрицательные значения индексов, а положительные значения – синим цветом. Для чрезвычайно засушливых лет характерно низкое

значение индекса SPEI (меньше –2). Чрезвычайно засушливыми были 1972, 1999, 2012 годы с низкой урожайностью зерновых культур.

Общая оценка ежегодного распределения засух осуществляется за период с мая по сентябрь. Среднее многолетнее значение SPEI с апреля по сентябрь изменяется незначительно (от –0,63 до 0,58) и близко к нормальному увлажнению. При этом за 50-летний период происходит постепенное уменьшение коэффициента увлажнения и испаряемости. За период с 1970 по 2020 год коэффициент SPEI в апреле уменьшился на 0,36; в июле – на 0,25; в августе – на 0,44 (таблица 1).

Таблица 1

## Средние значения SPEI для метеостанции Коченево в отдельные периоды с 1970 по 2020 гг.

Месяц	С 1970 по 1980 гг.	С 1981 по 1990 гг.	С 1991 по 2000 гг.	С 2001 по 2010 гг.	С 2011 по 2020 гг.	Среднее значение
Апрель	–0,63	0,20	0,07	0,60	–0,27	–0,007
Май	–0,271	0,34	–0,17	–0,04	0,18	0,009
Июнь	0,002	0,08	0,05	–0,21	–0,008	–0,017
Июль	0,57	–0,27	–0,45	–0,28	0,32	–0,022
Август	0,58	–0,50	–0,25	–0,15	0,14	–0,035
Сентябрь	0,51	–0,50	–0,24	–0,26	0,36	–0,027

Table 1

## Average SPEI values for the Kochenevo weather station in certain periods from 1970 to 2020

Month	From 1970 to 1980	From 1981 to 1990	From 1991 to 2000	From 2001 to 2010	From 2011 to 2020	Mean
April	–0.63	0.20	0.07	0.60	–0.27	–0.007
May	–0.271	0.34	–0.17	–0.04	0.18	0.009
June	0.002	0.08	0.05	–0.21	–0.008	–0.017
July	0.57	–0.27	–0.45	–0.28	0.32	–0.022
August	0.58	–0.50	–0.25	–0.15	0.14	–0.035
September	0.51	–0.50	–0.24	–0.26	0.36	–0.027

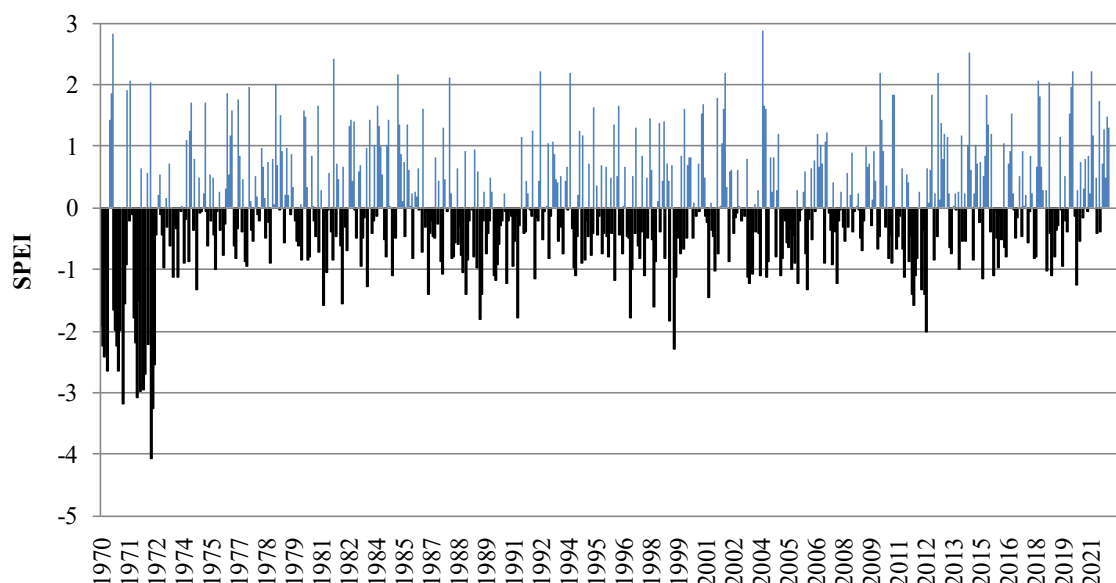


Рис. 2. Значение стандартизованного индекса осадков и испаряемости для метеостанции Коченево Новосибирской области

Fig. 2. Standardized precipitation and evaporation index for the Kochenevo weather station in the Novosibirsk region

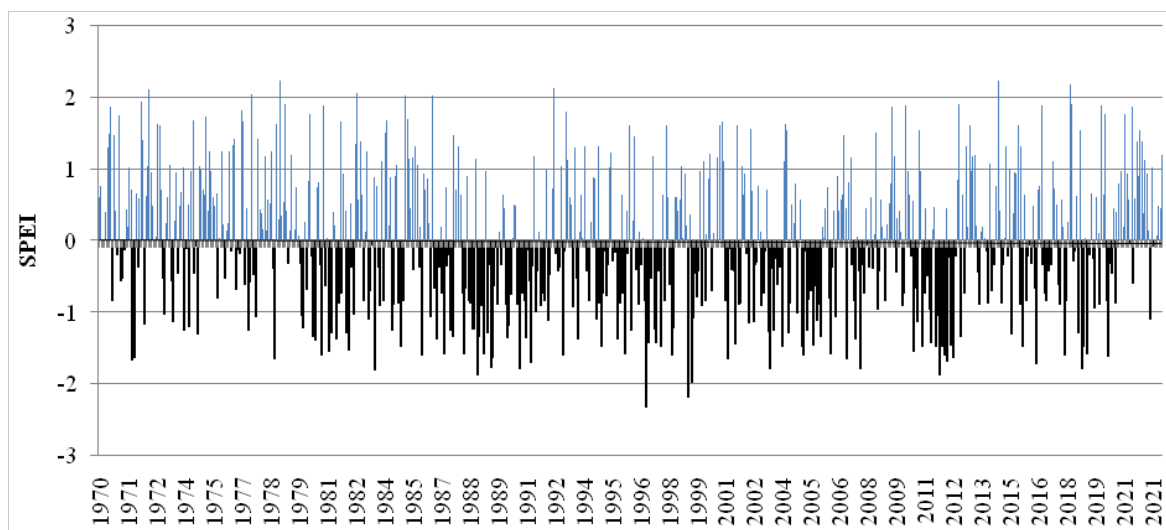


Рис. 3. Значение стандартизованного индекса осадков и испаряемости для метеостанции Ордынское Новосибирской области

Fig. 3. Standardized precipitation and evaporation index for the Ordynskoye weather station, Novosibirsk region

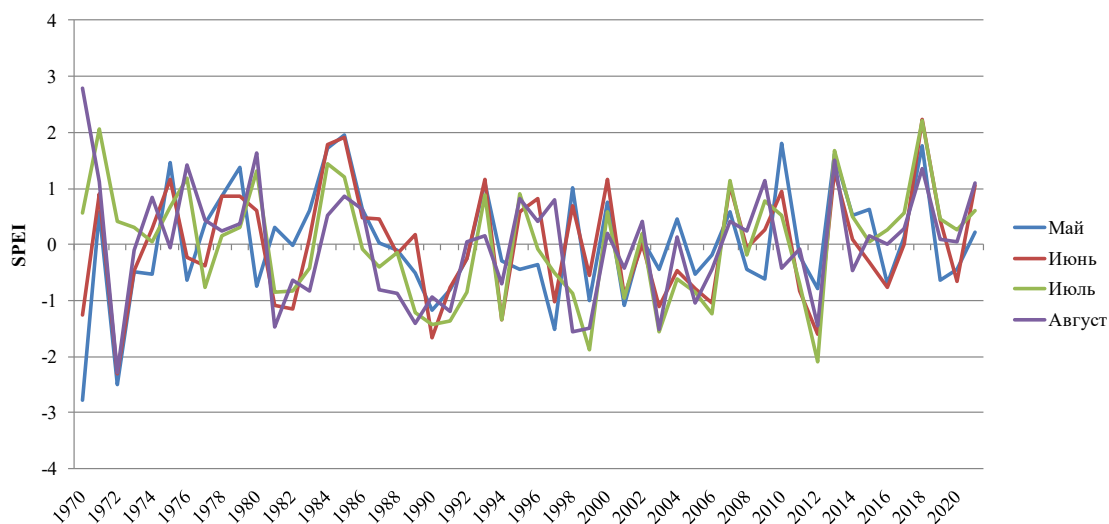


Рис. 4. Изменение стандартизованного индекса осадков и испаряемости для вегетационного периода зерновых культур (метеостанция Коченево) в период с 1970 по 2021 гг.

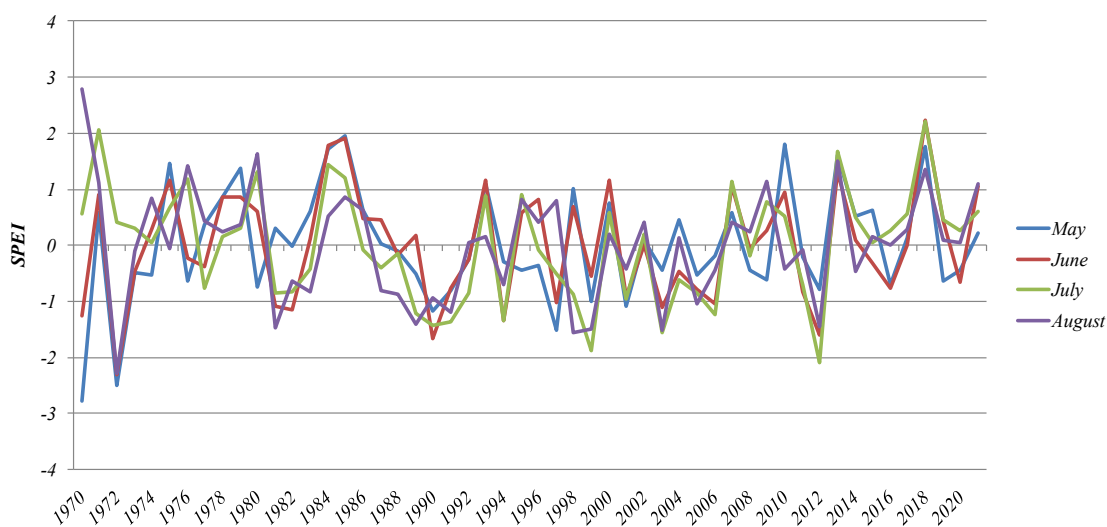


Fig. 4. Changes in the standardized index of precipitation and evaporation for the growing season of grain crops (Kochenevo weather station) from 1970 to 2021

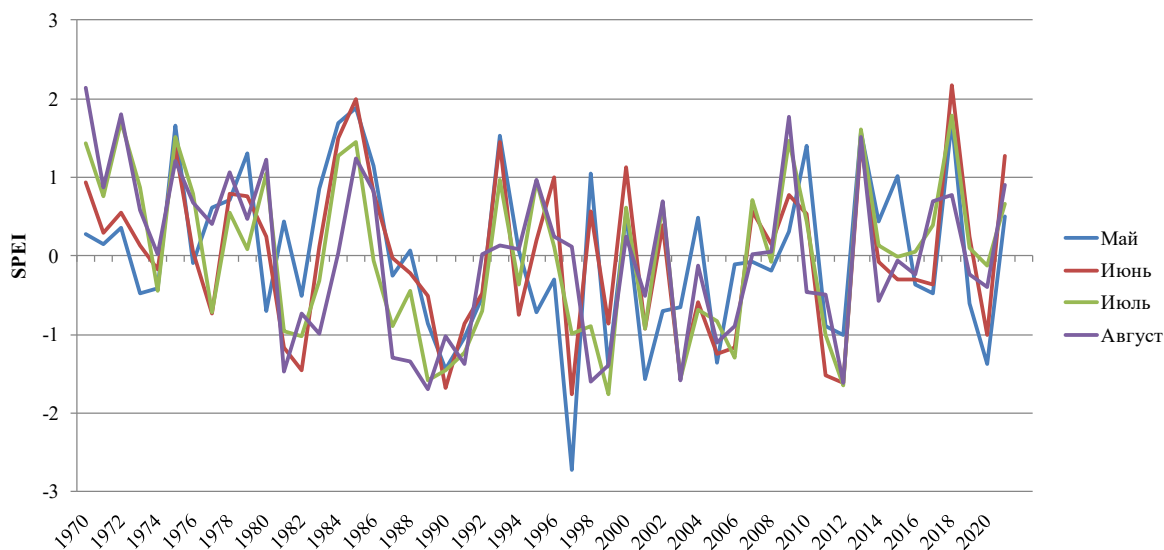


Рис. 5. Изменение SPEI в течение вегетационного периода зерновых культур (метеостанция Ордынское) с 1970 по 2021 гг.

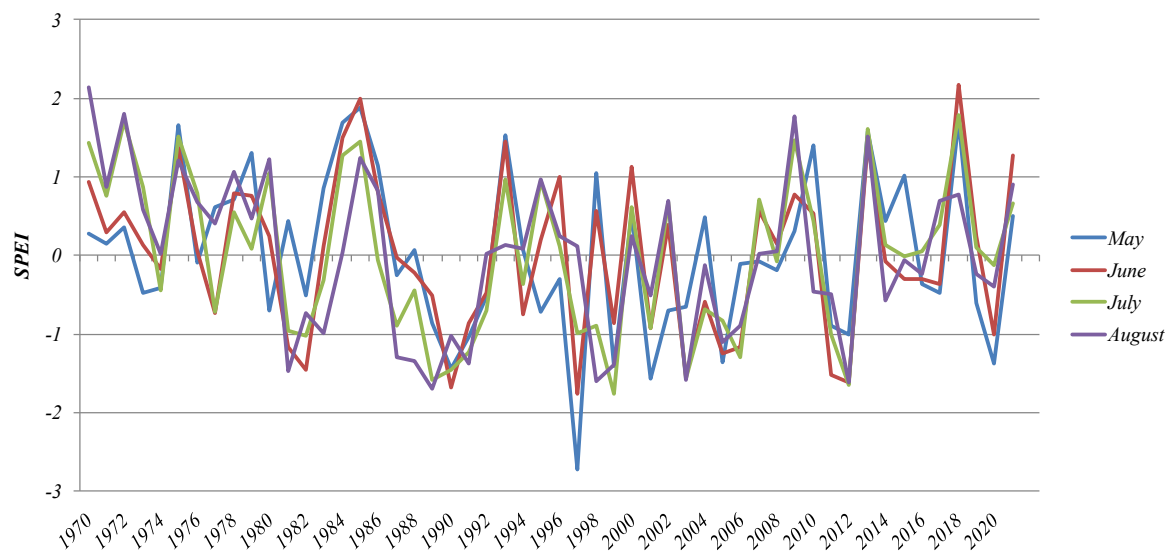


Fig. 5. Change in SPEI during the growing season of grain crops (Ordynskoye weather station) from 1970 to 2021

Характер изменения SPEI в отдельные годы существенно отличается. Стандартизированный индекс осадков и испаряемости за период вегетации зерновых культур с мая по август изменяется в широких диапазонах относительно нормального увлажнения (рис. 2). На рис. 4 и рис. 5 синим цветом обозначены границы значений SPEI при нормальном увлажнении. Для сравнительного анализа интенсивности засухи выполнена оценка тепло- и влагообеспеченности для следующих лет: 1972, 1999 и 2012.

На севере центрально-лесостепного Приобского агроландшафта (метеостанция Коченево) в 1972 году май, июнь и август характеризуются как экстремально засушливые. Значения SPEI превышают  $-2$  (рис. 6, а). Для данных месяцев наблюдает-

ся положительное отклонение средней месячной температуры приземного воздуха от нормы на  $1^{\circ}\text{C}$ ,  $18^{\circ}\text{C}$  и  $26^{\circ}\text{C}$  соответственно (рис. 7, а). При этом обеспеченность осадками за вегетационный период с мая по август составила 165 %, 205 %, 90 % соответственно. Значения выпавших осадков за указанные месяцы превышают норму в мае на 22 мм, в июне – на 49 мм (рис. 8, а). В августе 1972 года количество выпавших осадков меньше нормы на 4 мм. Для июля характерно увлажнение, близкое к нормальному, отклонение средней месячной температуры воздуха ниже нормы на  $5^{\circ}\text{C}$ , а обеспеченность осадками составила 200 %. Количество выпавших осадков превысило среднее многолетнее значение на 53 мм (рис. 8, а). Значение SPEI положительное и составило 0,40.

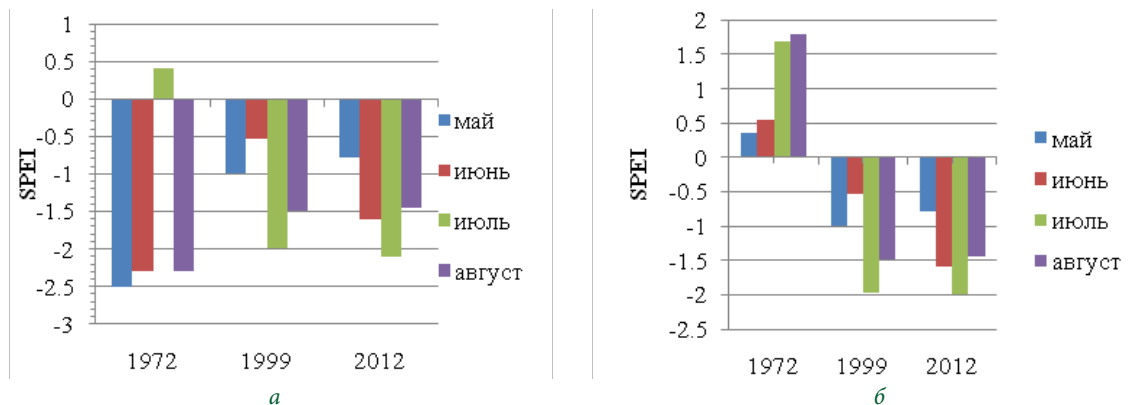


Рис. 6. Значение SPEI за период вегетации зерновых культур для центрально-лесостепного Приобского агроландшафта: а) метеостанция Коченево, б) метеостанция Ордынское

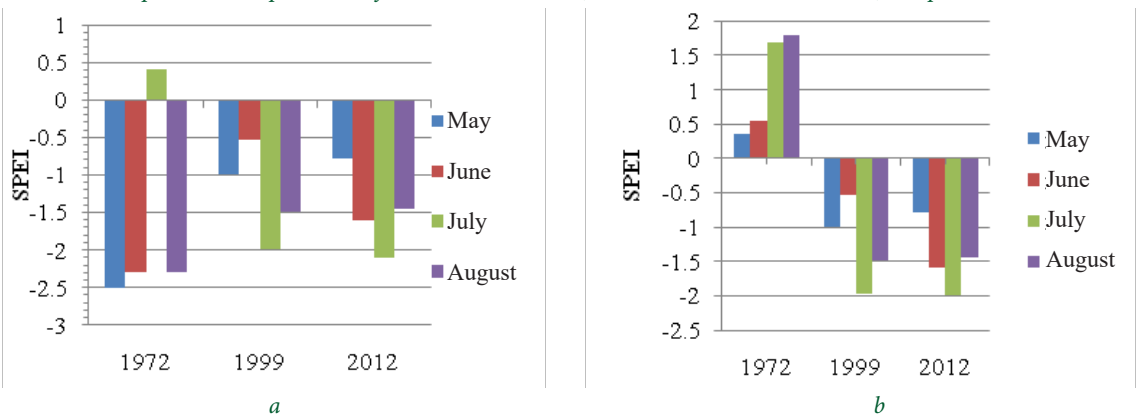


Fig. 6. SPEI for the growing season of grain crops for the central forest-steppe Priobskiy agrolandscape: a) Kochenevo meteorological station, b) Ordynskoye meteorological station

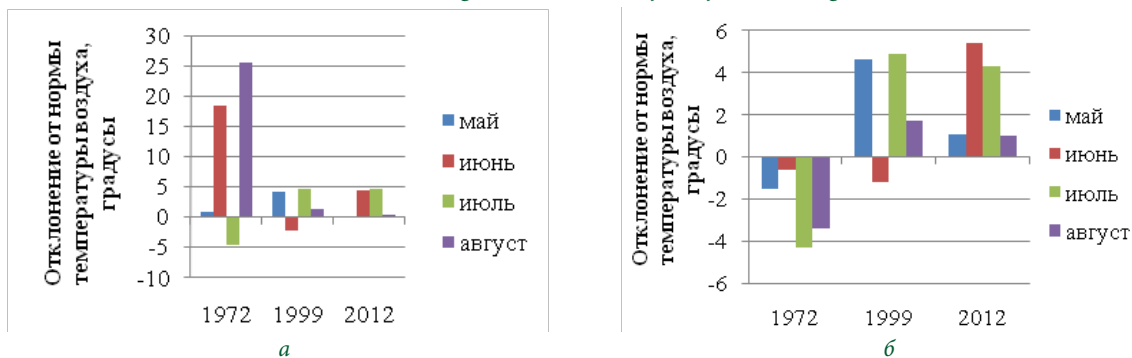


Рис. 7. Отклонение от нормы температуры воздуха за период вегетации зерновых культур для центрально-лесостепного Приобского агроландшафта: а – метеостанция Коченево, б – метеостанция Ордынское

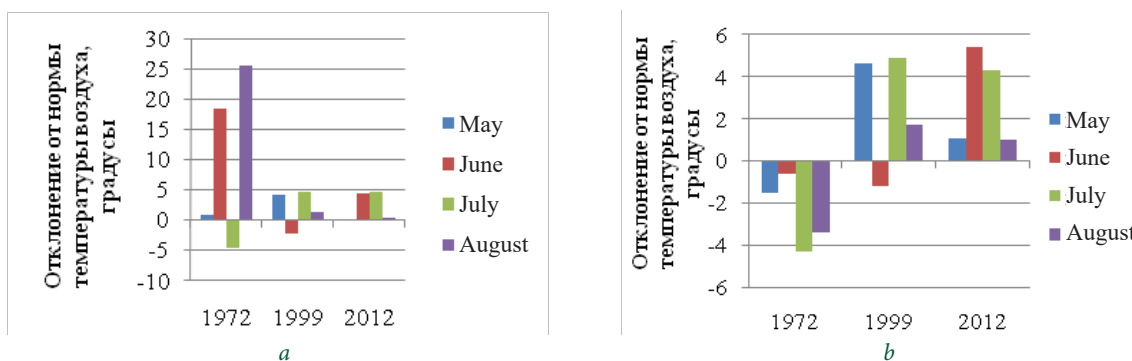


Fig. 7. Air temperature deviation from the norm during the growing season of grain crops for the central forest-steppe Priobskiy agrolandscape: a) Kochenevo meteorological station, b) Ordynskoye meteorological station



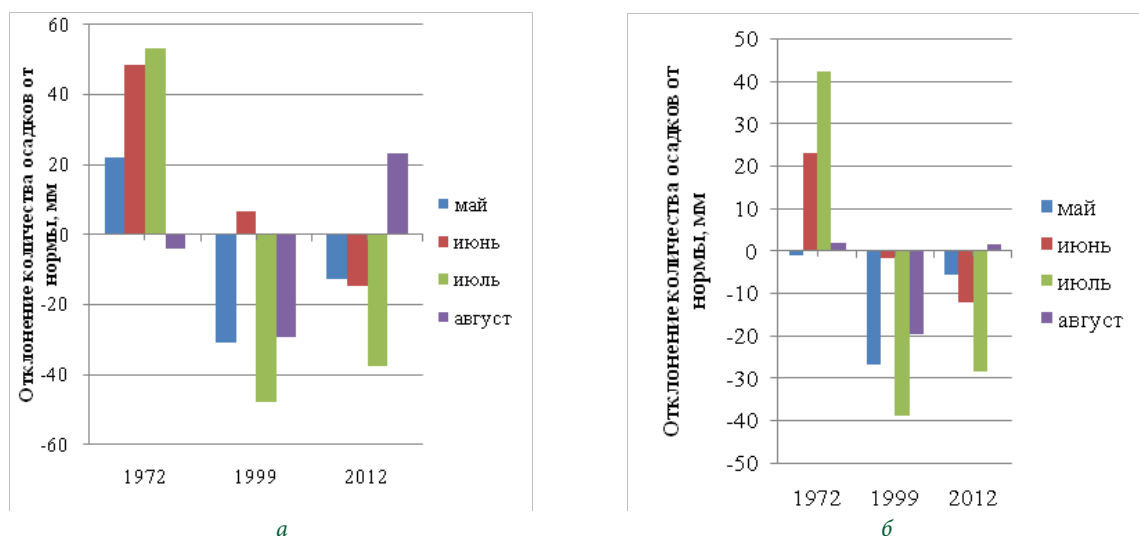


Рис. 8. Отклонение количества осадков от нормы за период вегетации зерновых культур для центрально-лесостепного Приобского агроландшафта: а) метеостанция Коченево, б) метеостанция Ордынское

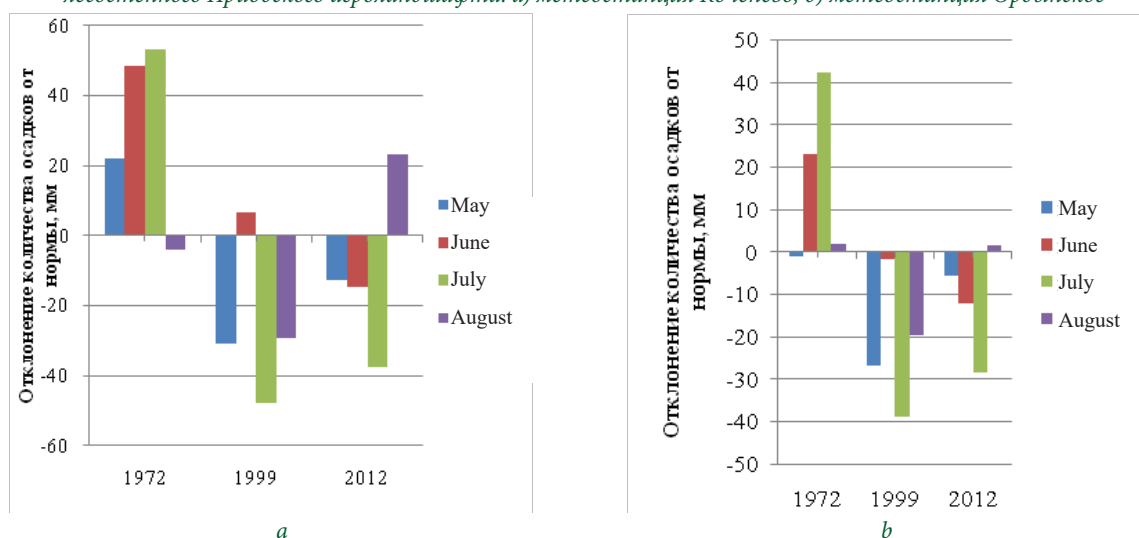


Рис. 8. Deviation of precipitation from the norm during the growing season of grain crops for the central forest-steppe Priobsky agrolandscape: a) Kochenevo meteorological station, b) Ordynskoye meteorological station

На юге центрально-лесостепного Приобского агроландшафта (метеостанция Ордынское) в 1972 году условия увлажнения вегетационного периода различны по месяцам. Май и июнь характеризуются увлажнением, близким к нормальному, с положительным знаком (рис. 6, б). Значение SPEI для данных месяцев составило соответственно 0,36 и 0,55. Июль и август характеризуются сильным увлажнением (значения SPEI составили 1,70 и 1,80). Для данных месяцев наблюдается значение температуры воздуха ниже нормы на 4 °C и 3 °C и высокая обеспеченность осадками – 185 % и 105 % соответственно. Количество выпавших осадков превышает нормы в июне на 23 мм, в июле – на 42 мм, в августе – на 2 мм (рис. 7, б).

В 1999 году на севере центрально-лесостепного Приобского агроландшафта для мая характерна слабая интенсивность засухи (SPEI = –1,0) при повышенной средней месячной температуре воздуха относительно нормы на 5 °C. Отмечена очень низ-

кая обеспеченность осадками (16 %), что составляет меньше на 27 мм относительно нормы. Условия увлажнения в июне близки к нормальным. Отклонение температуры воздуха от нормы составило –1 °C, а обеспеченность осадками – 96 % (на 2 мм меньше нормы). Для июля и августа характерна сильная и умеренная засуха с климатическими индексами SPEI, равными –1,98 и –1,49 (рис. 6, а). При сравнении с условиями тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода 1999 года для юга центрально-лесостепного агроландшафта (метеостанция Ордынское) май и август характеризуются умеренной интенсивностью засухи со значениями SPEI –1,40 и –1,38 соответственно (рис. 6, б). Для июня характерна слабая интенсивность засухи, при которой отклонение приземной температуры воздуха от нормы меньше на 1 °C, осадков меньше на 2 мм (обеспеченность 96 %), а стандартизированный индекс осадков и испаряемости равен –0,86.

Для севере центрально-лесостепного Приобского агроландшафта (метеостанция Коченево) в мае в 2012 года характерно распространение засухи со слабой интенсивностью (SPEI = -0,78). В июне и июле превышение температуры от нормы составило 4°C и 5 °C соответственно (рис. 7, а), а обеспеченность осадками в июле очень низкая и составила 30 % от нормы (меньше на 38 мм) (рис. 8, а). Июль характеризуется как экстремально засушливый с климатическим индексом SPEI, равным -2,1.

На юге центрально-лесостепного Приобского агроландшафта в мае 2012 года наблюдается слабая интенсивность засухи при повышенной температуре воздуха на 1 °C от нормы и обеспеченности осадками 85 %. Июнь, июль и август характеризуются как сильнозасушливые с превышением средней месячной температуры воздуха от 1 °C до 5 °C. В июле обеспеченность осадками очень низкая, составила 43 % (меньше нормы на 28 мм). Наиболее жаркий месяц июль характеризуется климатическим индексом SPEI, равным 1,65.

#### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В результате выполнена оценка агроклиматических условий увлажненности вегетационного периода зерновых культур на основе временного анализа стандартизированного индекса осадков и испаряемости на примере Новосибирской области. Полученные значения климатического индекса SPEI разного временного масштаба от одного месяца до одного календарного года позволили выявить сильно засушливые и экстремально засушливые годы. В результате оценки засухи для центрально-лесостепного Приобского агроландшафта выявлено следующее:

- среднее многолетнее значение SPEI с апреля по сентябрь за период с 1970 по 2021 год близко к нормальному;
- оценка метеорологической засухи с различным временным интервалом от одного месяца до одного календарного года позволяет выявить силь-

но засушливые и экстремально засушливые годы на основе визуального распределения значений SPEI за период с 1970 по 2021 год;

- интенсивность засухи в границах одного агроландшафта может существенно отличаться. Например, в 1972 году на севере центрально-лесостепного агроландшафта за период вегетации зерновых культур отдельные месяцы по степени проявления засухи можно охарактеризовать как экстремально и сильно засушливые, а на юге агроландшафта для данного года выявлено избыточное увлажнение с отклонением температуры приземного воздуха от нормы на 1–4,3 °C и очень высокой обеспеченностью осадками (200 %);

- на интенсивность засухи оказывают влияние превышение температуры приземного воздуха относительно нормы, сильная и экстремальная засуха наблюдается при превышениях температуры от нормы на 4–5 °C;

- интенсивность засухи за период вегетации культур в сильно и экстремально засушливые годы по отдельным месяцам вегетации зерновых культур в границах одного агроландшафта отличается.

В процессе комплексной оценки увлажненности вегетационного периода зерновых культур необходимо учитывать не только количество выпавших осадков и величину теплообеспеченности, но и значения отклонений данных показателей от нормы. На значение стандартизированного индекса осадков и испаряемости оказывает существенное влияние значение температуры воздуха. Превышение средней месячной температуры воздуха на 4–5 °C от нормы при средней или низкой обеспеченности осадками связано с сильной и экстремальной интенсивностью засухи. Интенсивность и продолжительность метеорологической засухи в границах одного агроландшафта может существенно отличаться. Поэтому предлагается выполнять оценку засухи при использовании данных об осадках и температурах воздуха для конкретной метеорологической станции.

#### Библиографический список

1. Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / H.-O. Pörtner, D. Roberts, M. M. B. Tignor, et al. (eds.). Cambridge, UK; New York, USA: Cambridge University Press, 3056 p. DOI: 10.1017/9781009325844.
2. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. Санкт-Петербург: Научно-технологические исследования, 2022. 124 с.
3. Страшная А. И., Бирман Б. А., Береза О. В. Особенности засухи 2012 г. на Урале и в Западной Сибири и ее влияние на урожайность яровых зерновых культур // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2018. № 2 (368). С. 154–169.
4. Барковская Т. А., Гладышева О. В., Кокорева В. Г. Оценка адаптивности и потенциальной продуктивности яровой мягкой пшеницы в условиях Рязанской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. № 24 (1). С. 58–65.
5. Ионова Е. В., Лиховидова В. А., Лобунская И. А. Засуха и гидротермический коэффициент увлажнения как один из критериев оценки степени ее интенсивности (обзор литературы) // Зерновое хозяйство России. 2019. № 6. С. 18–22. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22.

6. Zhang H., Yin G., Zhang L. Evaluating the impact of different normalization strategies on the construction of drought condition indices // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2022. Vol. 323 (5). Article number 109045. DOI: 10.1016/j.agrformet.2022.109045.
7. Müller L. M., Bahn M. Drought legacies and ecosystem responses to subsequent drought // *Global Change Biology*. 2022. Vol. 28. Pp. 5086–5103.
8. Wang Q., Zhang R., Qi J., Wu J., Shui W., Wu X., Li J. An improved daily standardized precipitation index dataset for mainland China from 1961 to 2018 // *Scientific Data*. 2022. Vol. 9. Article number 124. DOI: 10.1038/s41597-022-01201-z.
9. Araneda-Cabrera R. J., Bermúdez M., Puertas J. Benchmarking of drought and climate indices for agricultural drought monitoring in Argentina // *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 790. Article number 148090. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148090.
10. Wang Y., Yang J., Chen Y., Su Z., et al. Monitoring and Predicting Drought Based on Multiple Indicators in an Arid Area, China // *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12 (14). Article number 2298. DOI: 10.3390/rs12142298.
11. Muse N. M., Taufur G., Safari M. J. S. Meteorological Drought Assessment and Trend Analysis in Puntland Region of Somalia // *Sustainability*. 2023. Vol. 15 (13). Article number 10652. DOI: 10.3390/su151310652.
12. Ndayiragije J. M., Li F. Effectiveness of Drought Indices in the Assessment of Different Types of Droughts, Managing and Mitigating Their Effects // *Climate*. 2022. Vol. 10 (9). Article number 125. DOI: 10.3390/cli10090125.
13. Li L., She D., Zheng H., Lin P., Yang Z.-L. Elucidating Diverse Drought Characteristics from Two Meteorological Drought Indices (SPI and SPEI) in China // *Journal of Hydrometeorology*. 2020. Vol. 21, Iss. 7. Pp. 1513–1530.
14. Погода и климат Новосибирской области [Электронный ресурс]. 2023. URL: <https://www.meteonova.ru/klimat/54/Novosibirskaya%20Oblast> (дата обращения: 11.01.2023).
15. Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации [Электронный ресурс]. 2023. URL: <https://meteoinfo.ru> (дата обращения: 11.01.2023).
16. Global Precipitation Measurement (GPM) [Электронный ресурс]. URL: <https://gpm.nasa.gov/data/visualizations/precip-apps> (дата обращения: 11.01.2023).
17. Павлова А. И. Пространственные базы данных агрономических геоинформационных систем // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 5. С. 336–349.

#### Об авторе:

**Анна Илларионовна Павлова**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий Новосибирского государственного университета экономики и управления, Новосибирск, Россия; ORCID 0000-0001-6159-1439, AuthorID 341749. E-mail: [annstab@mail.ru](mailto:annstab@mail.ru)

#### References

1. *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / H.-O. Pörtner, D. Roberts, M. M. B. Tignor, et al. (eds.). Cambridge, UK; New York, USA: Cambridge University Press, 3056 p. DOI: 10.1017/9781009325844.
2. *Third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary*. Saint Petersburg: High technology, 2022. 124 p. (In Russ.)
3. Strashnaya A. I., Birman B. A., Bereza O. V. Peculiarities of drought in 2012 in the Urals and in Western Siberia and its impact on the yield of spring grain crops. *Hydrometeorological Research and Forecasting*. 2018; 2 (368): 154–169. (In Russ.)
4. Barkovskaya T. A., Gladysheva O. V., Kokoreva V. G. Assessment of adaptability and potential productivity of spring soft wheat in the conditions of the Ryazan region. *Agricultural Science of the Euro-North-East*. 2023; 24 (1): 58–65. (In Russ.)
5. Ionova E. V., Likhovidova V. A., Lobunskaya I. A. Drought and hydrothermal humidity factor as one of the criteria to estimate its intensity degree (literature review). *Grain Farming in Russia*. 2019; 6: 18–22. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22>. (In Russ.)
6. Zhang H., Yin G., Zhang L. Evaluating the impact of different normalization strategies on the construction of drought condition indices. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2022; 323 (5): 109045. DOI: 10.1016/j.agrformet.2022.109045.
7. Müller L. M., Bahn M. Drought legacies and ecosystem responses to subsequent drought. *Global Change Biology*. 2022; 28: 5086–5103.
8. Wang Q., Zhang R., Qi J., Wu J., Shui W., Wu X., Li J. An improved daily standardized precipitation index dataset for mainland China from 1961 to 2018. *Scientific Data*. 2022; 9: 124. DOI: 10.1038/s41597-022-01201-z.

9. Araneda-Cabrera R. J., Bermúdez M., Puertas J. Benchmarking of drought and climate indices for agricultural drought monitoring in Argentina. *Science of the Total Environment*. 2021; 790: 148090. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148090.
10. Wang Y., Yang J., Chen Y., Su Z., et. al. Monitoring and Predicting Drought Based on Multiple Indicators in an Arid Area, China. *Remote Sensing*. 2020; 12 (14): 2298. DOI: 10.3390/rs12142298.
11. Muse N. M., Taufur G., Safari M. J. S. Meteorological Drought Assessment and Trend Analysis in Puntland Region of Somalia. *Sustainability*. 2023; 15 (13): 10652. DOI: 10.3390/su151310652.
12. Ndayiragije J. M., Li F. Effectiveness of Drought Indices in the Assessment of Different Types of Droughts, Managing and Mitigating Their Effects. *Climate*. 2022; 10 (9): 125. DOI: 10.3390/cli10090125.
13. Li L., She D., Zheng H., Lin P., Yang Z.-L. Elucidating Diverse Drought Characteristics from Two Meteorological Drought Indices (SPI and SPEI) in China. *Journal of Hydrometeorology*. 2020; 21 (7): 1513–1530.
14. Weather and climate of the Novosibirsk region [Internet]. 2023 [cited 2023 Jan 11]. URL: <https://www.meteonova.ru/klimat/54/Novosibirskaya%20Oblast>.
15. *Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation* [Internet]. 2023 [cited 2023 Jan 11]. URL: <https://meteoinfo.ru>.
16. *Global Precipitation Measurement (GPM)* [Internet] [cited 2023 Jan 11] URL: <https://gpm.nasa.gov/data/visualizations/precip-apps>.
17. Pavlova A. I. Spatial databases of agronomic geoinformation information systems. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021; 13 (5): 336–349.

**Author's information:**

**Anna I. Pavlova**, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of information technologies, Novosibirsk State University of Economics and Management, Novosibirsk, Russia; ORCID 0000-0001-6159-1439, AuthorID 341749. E-mail: [annstab@mail.ru](mailto:annstab@mail.ru)