

УДК 551.5

DOI: 10.17072/2079-7877-2021-2-110-120

ИССЛЕДОВАНИЕ АТМОСФЕРНОЙ ЗАСУХИ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Лаура Сергеевна Рысалиева

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4730-9545>, SPIN-код: 7954-5168, Author ID: 1109804

e-mail: marchoctmay@gmail.com

Казахский Национальный университет им аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан

Виталий Григорьевич Сальников

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9800-148X>, Scopus Author ID: 6602504406

e-mail: Vitali.Salnikov@kaznu.kz

Казахский Национальный университет им аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан

К агрометеорологическим явлениям, опасным для сельскохозяйственных культур, относятся: засухи, суховеи, заморозки, сильные ливни, град, сильные ветры и пыльные бури. Самыми распространенными и опасными являются засухи и суховеи. Засуха — это природное сложное, малоизученное явление, которое способно наносить экосистемам непоправимый ущерб, широко воздействуя на водные ресурсы, сельскохозяйственное производство, экосистемные функции, окружающую среду, местную и глобальную экономику. Представленная статья является обзорной, в которой приведены некоторые наиболее часто и широко применяемые индексы и показатели засухи в последние два десятилетия, кратко изложены результаты исследований атмосферной засухи с помощью этих индексов, связи ее возникновения в различных регионах Центральной Азии и характеристики ее суровости в зависимости от типов крупномасштабной циркуляции атмосферы. Сравняются метеорологические индексы и индексы дистанционного зондирования, также выявлены благоприятные индексы для параметризации и мониторинга засух. Авторы, указанные в работе, дают ценную научную информацию и возможные направления для дальнейших исследований засухи в Центральной Азии.

К л ю ч е в ы е с л о в а : атмосферная засуха, засушливость, изменение климата, экстремальные явления погоды, метеорологические индексы засушливости.

STUDY OF ATMOSPHERIC DROUGHT IN CENTRAL ASIA

Laura S. Ryssaliyeva

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4730-9545>, SPIN-code: 7954-5168, Author ID: 1109804

e-mail: marchoctmay@gmail.com

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

Vitaly G. Salnikov

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9800-148X>, Scopus Author ID: 6602504406

e-mail: Vitali.Salnikov@kaznu.kz

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

Agrometeorological events that are dangerous for crops include droughts, dry winds, frosts, heavy rains, hail, strong winds, and dust storms. The most common and dangerous are droughts and dry winds. Drought is a natural phenomenon that is one of the most complex and least studied natural hazards, capable of causing irreparable damage to ecosystems with a wide impact on water resources, agricultural production, ecosystem functions, the environment, local and global economies. The article is a review that presents some of the most frequently and widely used drought indices and indicators in the last two decades, summarizes the results of atmospheric drought research using these indices, demonstrates the relationship between the occurrence of atmospheric drought in various regions of Central Asia and the characteristics of its severity depending on the types of large-scale atmospheric circulation. We compared meteorological and remote sensing indices and identified favorable indices for parameterization and monitoring of droughts. The papers presented in the review provide valuable scientific information and possible directions for further research on drought in Central Asia.

Key words: atmospheric drought, aridity, climate change, extreme weather events, meteorological aridity indices.



*Метеорология**Рысалиева Л.С., Сальников В.Г.***Введение**

На всем земном шаре в различных его районах ежегодно наблюдаются аномальные явления природы. Так, в докладе МГЭИК [4] и в других многочисленных работах [3; 8; 9] было отмечено, что глобальное потепление климата обуславливает увеличение экстремальных явлений погоды, таких как засуха, периоды избыточного увлажнения, наводнения, сильные морозы и др., которые наносят большой экономический ущерб обществу.

За последние 30 лет возросла озабоченность по поводу значительных экономических, экологических и социальных последствий засухи в сельском хозяйстве и смежных секторах в Центральной Азии.

Засухи – одно из наиболее дорого обходящихся природных опасных явлений, которые наблюдаются ежегодно в различных регионах земного шара, и для облегчения мониторинга за таким явлением используются индексы и показатели засухи.

Засуха – очень частое явление в Центральной Азии, которое усугубляется изменением климата и растущим антропогенным давлением, угрожая водной безопасности региона.

Актуальность исследования засух обусловлена, в первую очередь, ее последствиями для природной среды и общества всего земного шара. Поскольку большая часть территории Центральной Азии располагается в аридных и полуаридных зонах, то здесь засухи являются одним из потенциально опасных природных процессов. В результате засуха наносит огромный экономический и социальный ущерб, снижая продуктивность сельскохозяйственного сектора, вызывая цепочку последствий, затрагивая животноводство, растениеводство, поставку продовольствия и средств к существованию, обуславливая при этом дефицит водных ресурсов, которые необходимы для ведения сельскохозяйственной деятельности и социально-экономического развития страны.

Цель данной работы – обзор исследований засухи в Центральной Азии, выполненных отечественными и зарубежными авторами последние десятилетия.

Материалами служили научные работы, выпущенные журналами, включенные в глобальные индексы цитирования Scopus и Web of Science.

Метеорологические индексы и показатели засухи

В мировой практике индексы и показатели засухи делятся на следующие типы:

- 1) метеорологические индексы;
- 2) индексы, характеризующие почвенную влагу;
- 3) гидрологические индексы;
- 4) индексы дистанционного зондирования [29].

В рамках данной работы приведены метеорологические индексы и индексы дистанционного зондирования, характеризующие атмосферную засуху.

Было выполнено большое количество научных работ по мониторингу и изучению атмосферной засухи, в которых были разработаны метеорологические индексы и показатели. Ниже приведены наиболее часто используемые индексы и показатели в изучении засух на территории Центральной Азии:

1. Процент от нормы количества осадков – самый простой показатель для выявления и мониторинга засухи, который применяется для разных временных интервалов от дня до года. Входным параметром является количество осадков за необходимый период времени, однако идеальным считается наличие данных, минимум, за 30 лет. Показатель рассчитывается как отношение (в %) фактического количества осадков к норме осадков за рассматриваемый период времени. Достоинство данного показателя заключается в простоте математических расчетов, а отрицательные стороны – трудности оценить недостаточность влаги для возникновения засухи [3; 15–17].

Метеорология

Рысалиева Л.С., Сальников В.Г.

2. Метод децилей осадков представляет из себя деление значений количества осадков на градации (интервалы). Положительные качества: можно использовать для влажного и для сухого периодов, оценки метеорологических, гидрологических и сельскохозяйственных засух. Недостатком является, то, что метод не учитывает влияния температуры, кроме того, необходимы долговременные ряды данных, чтобы получить точные результаты [4; 16; 29].

3. Одним из широко используемых индексов является индекс аномальной аридности (ААИ), в котором учитывается водный баланс, что, соответственно является отличным вариантом применения для сельского хозяйства. Индекс вычисляется для периодов от одной до двух недель по фактической эвапотранспирации и рассчитанной потенциальной эвапотранспирации, входными данными для которых являются значения температуры, ветра и солнечной радиации [17]. Достоинство данного индекса заключается в простоте расчетов; характеристика засухи определяется отклонением от нормы. Отрицательные стороны – индекс не применим к продолжительным периодам. Для районирования территории автор выделяет следующие критерии засухи, указанные в табл. 1.

Таблица 1

Категории засухи по данным индекса аномальной аридности
Drought categories according to the abnormal aridity index

Категория засухи	Значение аномалии, %
Мягкая засуха	<25
Умеренная засуха	26–50
Сильная засуха	>50

4. Стандартизированный индекс осадков (SPI) – это метеорологический индекс для мониторинга засушливости, основанный только на количестве осадках, который является относительно простым в использовании и вычислении. Индекс был рекомендован Всемирной метеорологической организацией (ВМО) в 2009 г. для использования всеми национальными гидрометеорологическими службами. Фундаментальная роль такого индекса – его круглогодичность, т.е. он может быть рассчитан для различных временных масштабов от месяца до нескольких лет, а его данные могут быть сопоставлены в различных климатических регионах. Программа, которую используют для расчета SPI, легкодоступна и проста в использовании. Однако у данного индекса есть и слабые стороны: SPI может показывать только количественную оценку дефицита осадков и не подходит для характеристики водного баланса.

Таблица 2

Категории засухи по данным стандартизированного индекса осадков
Drought categories according to the standardized precipitation index

Категория засухи	Значение SPI
Мягкая засуха	от 0 до –0,99
Умеренная засуха	от –1,00 до –1,49
Сильная засуха	от –1,50 до –1,99
Экстремальная засуха	менее –2,00

Положительные значения SPI характеризуют влажные условия. Отрицательные значения SPI представляют собой засушливые условия; чем ниже SPI, тем более сухим является исследуемый период времени. Классификационная шкала, предложенная автором, приводится в табл. 2 [8; 18; 27; 29].

5. К одним из простых и рекомендуемых Всемирной метеорологической организацией для использования всеми национальными гидрометеорологическими службами для оценки условий увлажнения можно отнести гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК), который был введен российским ученым-климатологом Г.Т. Селяниновым. ГТК характеризует уровень увлажненности территории, прост в расчетах, однако не учитывает

Метеорология
Рысалиева Л.С., Сальников В.Г.

почвенную влагу: входными данными являются значения температуры и количество осадков. Коэффициент представляет собой отношение суммы осадков (мм) за период со среднесуточными температурами воздуха выше $+10^{\circ}\text{C}$ к сумме температур воздуха за тот же период, умноженной на 0,1. Полученные значения могут служить для мониторинга условий сельскохозяйственной засухи и учитываться в климатических классификациях. Автор предложил следующую категорию увлажненности, представленную в табл. 3 [17; 19].

Таблица 3

Категории увлажненности по данным гидротермического коэффициента Селянинова
Categories of moisture content according to the data Selyaninov hydrothermal coefficient

<i>Категория увлажненности</i>	<i>Значения ГТК</i>	<i>Категория увлажненности</i>	<i>Значения ГТК</i>
Избыточное увлажнение	>2,0	Засуха	0,8–0,6
Умеренное увлажнение	>1,0	Средняя засуха	0,6–0,5
Засушливо	<1,0	Сильная засуха	0,5–0,4
Умеренная засуха	1–0,8	Очень сильная засуха	<0,4

6. Индекс Д.А. Педея (S_i) является самым распространенным в постсоветском пространстве показателем для оценки и прогноза засух. Входными данными для изучения засух являются температура воздуха и количество выпавших осадков, точнее, индекс представляет собой разность стандартизованных аномалий температуры воздуха и атмосферных осадков. При положительных значениях индекса рассматриваемый период относится к засушливым, а при отрицательных значениях – к влажному периоду.

7. Индекс интенсивности засухи Палмера (PDSI) является популярным индексом засухи, что позволяет следить за изменениями условий засушливости. Расчет индекса основан, в основном, на данных месячной температуры и количестве осадков, а также можно использовать данные влагоемкости почвы. Такой индекс применяется для мониторинга и выявления засухи, ее начала и конца, а также для оценки воздействия на сельское хозяйство. PDSI основан на концепции «запас-расход» влаги уравнения водного баланса и фактически используется для оценки длительных периодов аномально влажной или сухой погоды. Индекс представляет собой сумму текущей аномалии влажности и значений индекса в предыдущий период, чтобы включить влияние продолжительности засухи или влажного периода [17; 20]. Недостатком данного индекса является запаздывающая его способность к выявлению засух, которая достигает нескольких месяцев, следовательно, индекс сложно выявляет быстро развивающиеся засухи. PDSI не учитывает снежный покров и промерзание почвы, что обуславливает сезонные проблемы.

Так, авторы выделяют 11 категорий индекса засухи, которые приведены в табл. 4.

Таблица 4

Категории влажности индекса PDSI
Humidity categories of the PDSI

<i>Категория влажности</i>	<i>Значение PDSI</i>	<i>Категория влажности</i>	<i>Значение PDSI</i>
Экстремально влажная	>4,00	Зарождающаяся засуха	–0,50 до –0,99
Очень влажная	3,00–3,99	Мягкая засуха	–1,00 до –1,99
Умеренно влажная	2,00–2,99	Умеренная засуха	–2,00 до –2,99
Слегка влажная	1,00–1,99	Сильная засуха	–3,00 до –3,99
Зарождающаяся влага	0,50–0,99	Экстремальная засуха	< –4,00
Около нормы	–0,49–0,49	–	–

8. Для мониторинга засух в исследовании [20] был разработан индекс дистанционного зондирования, называемый индексом температурного состояния растительности (VTCSI).

*Метеорология**Рысалиева Л.С., Сальников В.Г.*

Индекс может быть использован для мониторинга засухи на региональном уровне в течение определенного периода года (например, 10 дней), а также для изучения пространственного распределения засухи в регионе. VTCI связан не только со значениями нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) в регионе, но и со значениями температуры поверхности земли с одинаковым значением NDVI. Пилотное исследование было проведено для мониторинга засухи в регионе Гуаньчжун на равнинах Лессового плато на Северо-западе Китая. Результаты показали, что VTCI лучше справляется с классификацией относительных уровней засухи для изучения распределения случаев засухи, чем NDVI.

Исследования засухи в Центральной Азии

Анализ неблагоприятных агрометеорологических явлений, вызвавшие значительное или полное уничтожение сельскохозяйственных посевов на территории Казахстана, показал, что на долю атмосферной и почвенной засухи приходится около 80%, ливневого дождя и града – 14%, заморозки – 2%, переувлажнения почвы – 2%, сильных морозов и сильных ветров – по 1% [1].

Атмосферная засуха характеризуется устойчивой антициклональной погодой с длительным бездождным периодом, высокой температурой и большой сухостью воздуха.

Значение крупномасштабных процессов атмосферной циркуляции позволяет нам лучше проводить долгосрочное прогнозирование засухи и других опасных явлений. В связи с внутренним положением и удаленностью от океанов Центральная Азия характеризуется полузасушливым и аридным климатом с низкой относительной влажностью и стойким дефицитом влаги в почве [25–26]. Поэтому этот регион является одним из самых засушливых регионов в мире. На формирование климата Центральной Азии в основном влияют такие факторы глобальной циркуляции атмосферы, как Арктическое и Североатлантическое колебания (АО, НАО), Сибирский антициклон (SH) и антициклон над Тибетским плато (TP) [15; 18].

В работе [19] на основе глобальной полулагранжевой модели Гидрометцентра России ПЛАВ была показана зависимость навыков прогнозирования от характера атмосферной циркуляции на примере Республики Казахстан (июль 1989 г.). Выявлено что разрешающая способность модели, при устойчивых меридиональных формах атмосферной циркуляции, позволяет прогнозировать не только умеренную, но и сильную засуху.

В работе [9] показано, что в годы Эль-Ниньо во внетропических широтах северного полушария отмечаются усиление западных ветров, увеличение степени бароклинности атмосферы, сдвиг шторм-треков и изменение в меридиональном переносе тепла стационарными вихрями. Полученные в работе [10] возмущения в распределении месячных сумм осадков в годы Эль-Ниньо являются отражением соответствующих изменений динамической структуры атмосферы. Таким образом, в годы Эль-Ниньо перестройка общей циркуляции атмосферы (ОЦА) в умеренных широтах Северного полушария приводит к аномальности распределения месячных сумм осадков по территории Казахстана, когда наиболее значительное проявление явления отмечается в период с июня года Эль-Ниньо по март следующего года. Экстремальные аномалии наблюдаются практически на всей территории республики. Показано, что в последние десятилетия в Центральной Азии наблюдаются значительное повышение температуры и небольшое уменьшение количества осадков [20; 21; 29; 33].

В 2003–2015 гг. были выявлены факты значительной засухи в большей части Центральной Азии, за исключением Северного Казахстана. Общее значительное периодическое колебание продолжительностью 16–64 месяца обнаружено в шести субрегионах (юго-запад (SW): северный Казахстан (NK), северо-восток (NE), юго-восток (SE), коридор Хэси (HX) и северо-запад (NW)). Периоды засухи в Центральной Азии в значительной степени связаны с Эль-Ниньо-Южным колебанием (ENSO).

*Метеорология**Рысалиева Л.С., Сальников В.Г.*

Североатлантическое колебание оказывает влияние на возникновении засухи в большинстве стран Центральной Азии, а на изменение засухи в восточной части Центральной Азии влияет сила Сибирского максимума [16].

Выдвинута гипотеза о том, что число смен дней с эффективными осадками и днями с их отсутствием в мае уменьшится при переходе Северной Атлантики от современной теплой фазы к последующей более холодной. Наряду с этим при сохранении темпов современного потепления рост частоты непрерывных периодов с аномально высокими температурами в мае приведет к увеличению риска опасной метеорологической засухи уже в мае, что весьма неблагоприятно для сельскохозяйственной отрасли [12].

Под руководством С.А. Долгих выполнена научно-исследовательская работа [6], в которой приведены результаты исследования повторяемости почвенной и атмосферной засухи на территории Северного Казахстана (1971–2008 гг.). На основе анализа рассчитанных индексов и показателей засух (ГТК Г.Т. Селянинова, SPI, индекс Д.И. Шашко и Д.А. Педя) определены репрезентативные показатели, которые необходимо использовать при мониторинге засух, разработана технология долгосрочного прогнозирования засухи (от месяца до сезона). Также составлен каталог засух для территории Северного Казахстана (1971–2007 гг.). Следует отметить, что ряд показателей рассчитан для территории Республики Казахстан впервые.

В исследовании [7] представлены рекомендации для эффективного использования снимков дистанционного зондирования для мониторинга и предупреждения засух странами Центральной Азии. Были предложены мероприятия по улучшению мониторинга, раннего предупреждения и прогнозирования засух странам Центральной Азии. Авторы, сопоставив ГТК, SPI, IVCI, IVI индексы между собой, выявили хорошее согласование индексов IVCI и ГТК.

Автор работы [2] провел оценку засушливости вегетационного периода по гидротермическому коэффициенту Г.Т. Селянинова и показал, что на территории Северного Казахстана имеются все 4 категории засушливости климата: не засушливый, слабо засушливый, умеренно засушливый и сильно засушливый.

На территории Казахстана с севера на юг повторяемость атмосферной засухи (умеренной и сильной) растет от 20 до 90%, т. е. на севере засуха возможна 1 раз в 8 лет, а на юге может наблюдаться 1 раз в 2 года. Повторяемость засухи сильной интенсивности растет с севера на юг от 5 до 70%, т. е. на севере сильная засуха возможна 1 раз в 20 лет, а на юге – 1 раз в 2 года. С 2004 г. практически ежегодно наблюдаются засухи разной интенсивности [11].

В работе [14] исследована взаимосвязь между состоянием засухи и крупномасштабными климатическими процессами. Были сделаны выводы, что в 1998–2001 гг. продолжительная фаза Ла-Нинья являлась основным фактором наступления засухи в Центральной и Юго-западной Азии. В работе [30] изучена реакция растительности на летние засухи с использованием 3-месячного стандартизованного индекса осадков и эвапотранспирации (SPEI) с 2000 по 2012 г. Авторы [34] изучили вариацию засухи на основе индекса интенсивности засухи Палмера (PDSI) с 1961 по 2014 г. и обнаружили тенденцию к усилению засухе в Центральной Азии.

Помимо изучения индексов засухи также важное значение имеет изучение субрегионального поведения засухи, так как в большинстве работ, посвященных засухе в Центральной Азии, не уделялось особого внимания характеристикам засухи в субрегиональном масштабе. Кроме того, понимание структуры и характеристик засухи, таких как продолжительность и интенсивность, решающее значение имеет для снижения уязвимости к засухе и разработки стратегий адаптации к засухе.

Наиболее часто используемый нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI) дистанционного зондирования часто не подходит для мониторинга засухи в

*Метеорология**Рысалиева Л.С., Сальников В.Г.*

реальном времени из-за запаздывающей реакции растительности на засуху. Поэтому в последнее время исследователи начали использовать комбинации различных показателей и индексов, например, комбинацию температуры поверхности земли и NDVI, которые показывают условия влажности и растительности одновременно.

В исследовании [24] индекс NDVI и температура поверхности земли из 8-суточных данных MODIS в безоблачный период (сентябрь-октябрь) были приняты для построения пространства NDVI–температура, из которого был вычислен VTCI. Индекс влажности сельскохозяйственных культур был рассчитан для представления нагрузки почвенной влаги на еженедельной основе для 20 станций мониторинга погоды. Было обнаружено, что VTCI имеет хороший потенциал для оценки степени и пространственной протяженности засушливого стресса во все годы (2000, 2002 и 2004). Результаты показали значительные и положительные связи между CMI (индексом влажности сельскохозяйственных культур) и VTCI, особенно в периоды сильной засухи, т.е. VTCI является информативным индексом для мониторинга терминальной засухи в региональном масштабе. VTCI имел значительную положительную связь с урожайностью, но слабо связан с аномалиями культур. Продолжительность терминального засушливого стресса, полученного по данным индекса VTCI, имеет значимую отрицательную связь с урожайностью основных зерновых и масличных культур, в частности земляного ореха.

В работе [10] были проведены мониторинг засух на территории Кыргызстана и сопоставление метеорологического индекса с индексом дистанционного зондирования. В качестве метеорологического индекса был использован SPI, а индекса дистанционного зондирования – NDVI, Mean VHI (оценивает общую степень засухи за вегетационный период и воздействие температуры на растения). Авторы обнаружили, что NDVI для мониторинга засух не подходит и с помощью расчетов SPI определили наличие засухи в 2014 г., которая негативно отразилась на урожайности, что было подтверждено данными Национального комитета статистики Кыргызской Республики.

Одним из опасных следствий засухи являются пожары. Центральная Азия – один из крупнейших полусушливых регионов, а основными типами ландшафта являются степи, полупустыни и пустыни [20]. Кроме того, большая часть Центральной Азии также стала более засушливой за последние 50 лет [17]. Авторы [27] обнаружили, что Центральная Азия имеет обширную выжженную площадь. Ежегодно в Центральной Азии горит около 15 млн га площади и 89% этих лесных пожаров приходится на Казахстан [22].

По результатам исследования [31] было установлено, что более 90% лесов Центральной Азии сосредоточено в Казахстане, т.е. деятельность лесных пожаров в регионе имеет сезонную зависимость. Например, в Северном Казахстане пик выгоревшей площади приходится на апрель-май, а в Центральном Казахстане максимум выгоревшей площади – на июнь-сентябрь. Более высокая площадь выгорания и большая межгодовая изменчивость площади выгорания наблюдались в Центральном Казахстане с июня по сентябрь. Это исследование также предполагает, что ослабленные западные ветра подавляют перенос водяного пара из Атлантического океана в западную часть Центрального Казахстана, что обуславливает уменьшение количества осадков, влажности почвы и относительной влажности в нижних слоях атмосферы. Эти условия способствуют росту пожарам во всем регионе.

Авторы [35] провели исследования и обнаружили, что тренд PDSI реагирует на резкое повышение температуры воздуха и незначительное изменение количества осадков. В период 1965–2014 гг. пространственное распределение индекса PDSI по Центральной Азии указывает на иссушение земной поверхности (42% площади суши) и увлажнение суши (58 % площади суши), которые в совокупности дали незначительную тенденцию увлажнения

Метеорология

Рысалиева Л.С., Сальников В.Г.

(0,0036 в год). Но в последнее десятилетие на большей части территории Центральной Азии пространственное распределение индекса PDSI показывает иссушение земной поверхности (65% площади суши), следовательно, наблюдается общая тенденция иссушения (-0,023 в год).

В работе [28] для анализа пространственно-временных изменений растительного покрова Казахстана авторы использовали интегральный индекс условий вегетации (IVCI) за период апрель-сентябрь 2000–2012 гг. и выделили наиболее засушливые года для территории Казахстана 2004, 2006, 2008, 2012. Наблюдается положительный тренд увеличения площадей зон с IVCI < 0,3, что характеризует усиление воздействия засушливых условий на продуктивность растительности Казахстана.

Отмечается, что летние периоды могут (в целом) стать более засушливыми, однако существует вероятность того, что интенсивность ливневых дождей возрастет [35].

Выводы

Анализ показал, что в последние годы Центральная Азия пользуется большим вниманием с точки зрения исследований засухи, особенно зарубежными авторами. Следует отметить, что особое внимание ученых привлекает Северный Казахстан, так как данная территория является крупнейшим зерносеющим регионом. Однако для стран Центральной Азии, либо для схожего по климатическим условиям региона, нет единого разработанного индекса или показателя для определения засухи.

В данной работе для параметризации атмосферных засух рассматривались метеорологические индексы, а также показатели и индексы дистанционного зондирования. Индексы дистанционного зондирования уступают в параметризации засух метеорологическим индексам и показателям. Однако хорошие результаты показал индекс дистанционного зондирования VTCI, который является показательным для изучения и выявления атмосферных засух.

На основе результатов многочисленных исследований выявлено, что наиболее показательными метеорологическими индексами для параметризации засух являются гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова, индекс Педя и SPI, что подтверждает опрос Комиссии по сельскохозяйственной метеорологии ВМО национальных гидрометеорологических служб стран Центральной Азии о наиболее частом использовании индексов засушливости [29].

Анализ научно-исследовательских работ, расчеты которых были выполнены по индексам и показателям, рекомендованным ВМО, показал тенденцию усиления засушливости, тем самым страны Центральной Азии сильно подвержены засухе.

Из анализа вышеуказанных работ можно сделать вывод, что на атмосферную засуху большое влияние оказывают крупномасштабные атмосферные процессы (Североатлантическое колебание, Эль-Ниньо – Южное колебание, Сибирский максимум, Ла-Нинья).

Помимо того, что засухи оказывают отрицательное влияние на развитие стран Центральной Азии, особенно на ведение сельскохозяйственной деятельности, засухи способствуют возникновению степных и лесных пожаров.

Приведенный обзор по изучению засухи может послужить основой для дальнейших научных исследований по выявлению и мониторингу засухи в Центральной Азии.

Библиографический список

1. Байшоланов С.С. О повторяемости засух в зерносеющих областях Казахстана // РГП «Казгидромет», Гидрометеорология и экология. Алматы, 2010. № 3. С. 27–38.
2. Байшоланов С.С. Оценка засушливых явлений в северной зерносеющей территории Казахстана // Фізична географія та геоморфологія. 2016.
3. Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Клещенко Л.К., Аристова Л.Н. О связях климатических аномалий на территории России с явлением Эль-Ниньо – Южное колебание // Метеорология и гидрология. 2002. № 5. С. 32–51.

Метеорология

Рысалиева Л.С., Сальников В.Г.

4. Изменение климата: Обобщенный доклад Межправительственной группой экспертов по изменению климата / под ред. Р.Т. Уотсона и др. Женева, 2007. 104 с.
5. *Исаев Э.К., Омурзакова Ш.А.* О возможности выявления и моделирования засух в Кыргызстане // Вестник КРСУ. 2019. Т. 19. № 8.
6. Исследование и прогнозирование засух в Казахстане: отчет о НИР (заключительный) / РГП «Казгидромет»; Рук. С.А. Долгих ГР № 0116РК00179; Инв. № 0211РК00434. Астана, 2010. 284 с.
7. Исследование по оценке проблем засухи и моделей мониторинга засух в Центральной Азии / Центр по чрезвычайным ситуациям и снижению риска стихийных бедствий; рук. В.Г. Сальников, А. Подрезов. Астана, 2020. 57 с.
8. *Клименко В.В.* Почему замедляется глобальное потепление? // Доклады Академии наук РФ. 2011. Т. 440. № 4. С. 536–539.
9. *Переведенцев Ю.П., Шантилинский К.Н., Важнова Н.А., Наумов Э.П., Шумихина А.В.* Изменения климата на территории Приволжского федерального округа в последние десятилетия и их взаимосвязь с геофизическими факторами // Вестник Удмуртского университета. 2012. Вып. 4. С. 122–135.
10. *Сальников В.Г., Турулина Г.К., Полякова С.Е., Скакова А.А.* Крупномасштабные атмосферные процессы и засушливость в Казахстане // Вестник. КазНУ. Экологическая серия. 2013. № 2(1).
11. *Спивак Л.Ф., Витковская И.С., Терехов А.Г., Батырбаева М.Ж.* Мониторинг долговременных изменений растительного покрова аридных и полуаридных зон Казахстана с использованием данных дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. №1. С. 163–169.
12. *Черенкова Е.А.* Опасная атмосферная засуха на европейской части России в условиях современного летнего потепления // Фундаментальная и прикладная климатология. 2017. Вып. 2 С. 130–143.
13. *Anderson LO, Malhi Y, Aragoñ LEOC, Ladle R, Arai E, Barbier N, Phillips O.* Remote sensing detection of droughts in Amazonian forest canopies // *New Phytologist*, 2010. № 187. P. 733–750.
14. *Barlow M., Cullen H., Lyon B.* Drought in central and southwest Asia: La Nina, the warm pool, and Indian Ocean precipitation. *J. Clim*, 2002. P. 700.
15. *Groll M., Opp C., Aslanov I.* Spatial and temporal distribution of the dust deposition in Central Asia – results from a long-term monitoring program. *Aeolian Res.* 2013. P. 49–62 URL: <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2012.08.002>.
16. *Hao G., Anming B.* Spatial and temporal characteristics of droughts in Central Asia during 1966–2015 // *Science of the Total Environment*. 2018.
17. *Huang A., Zhou Y., Zhang Y., Huang D., Zhao Y., Wu H.* Changes of the Annual Precipitation over Central Asia in the Twenty-First Century Projected by Multimodels of CMIP5. *J. Clim*, 2014.
18. *Issanova G., Abuduwaili J.* Aeolian Processes in the Arid Territories of Central Asia. Springer. 2017.
19. *Kulikova A., Kruglova E.N., Kikteva D.B., Sal'nikov V.G.* Practical Predictability of the Standardized Precipitation Index on Monthly and Sea sonal Timescales. *Russian Meteorology and Hydrology*. Pp. 582–593. 2017.
20. *Lioubimtseva E., Cole R.* Uncertainties of Climate Change in Arid Environments of Central Asia. *Reviews in Fisheries Science and Aquaculture*, 2006. P. 29–49. URL: <http://doi.org/10.1080/10641260500340603>.
21. *Lioubimtseva E., Henebry G.M.* Climate and environmental change in arid Central Asia: impacts, vulnerability, and adaptations. *J. Arid Environ.* 2009. Vol. 73. P. 29–49. URL: <http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.04.022>.
22. *Loboda T.V., Giglio L., Boschett, L., Justic, C.O.* Regional fire monitoring and characterization using global NASA MODIS fire products in dry lands of Central Asia. *Front. Earth Sci.* 2012. P. 196–205.
23. MetOffice, 2014. Climate risk an update on the science. Met Office, Handley Center, Devon. UK. P. 9.
24. *Patel N. R., Parida B. R., Venus V., Saha S. K., Dadhwal V. K.* Analysis of agricultural drought using vegetation temperature condition index (VTCI) from Terra/MODIS satellite data. *Environmental Monitoring and Assessment* December 2011.
25. *Qi J., Kulmatov R.*, An overview of environmental issues in Central Asia. *Environmental Problems of Central Asia and Their Economic, Social and Security Impacts*. Springer, 2008.pp. 3–14.
26. *Qi J.G., Bobushev T.S., Kulmato, R., Groisman P., Gutman G.* Addressing global change challenges for Central Asian socio-ecosystems. *Front. Earth Sci*, 2012. URL: <https://doi.org/10.1007/s11707-012-0320-4>.
27. *Randerson J.T., Chen Y., van der Werf G.R., Rogers B.M., Morton D.C.* Global burned area and biomass burning emissions from small fires. // *J. Geophys.* 2012.
28. *Spivak L., Vitkovskaya I., Bатырбаева М., Терехов А.* Detection of Desertification Zones Using Multi-Year Remote Sensing Data. *NATO Science for Peace and Security Series. // Environmental Security Use of Satellite and In-Situ Data to Improve Sustainability*, Springer, 2010. P. 235–241.
29. World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), 2016: *Handbook of Drought Indicators and Indices* (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva.
30. *Xu H.J., Wang X.P., Zhang X.X.* Decreased vegetation growth in response to summer drought in Central Asia from 2000 to 2012. // *Int. J. Appl. Earth Obs.* 2016. P. 402.

Метеорология

Рысалиева Л.С., Сальников В.Г.

31. Xu Y., Lin Z., Wu C. Spatiotemporal Variation of the Burned Area and Its Relationship with Climatic Factors in Central Kazakhstan. *Remote Sens.* 2021. URL: <https://doi.org/10.3390/rs13020313>.
32. Xu H.J., Wang X.P., Zhang X., Decreased vegetation growth in response to summer drought in Central Asia from 2000 to 2012. *Int. J. Appl. Earth Obs.* 2016. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.07.010>.
33. Yin G., Hu Z., Chen X., Tiyyip T. Vegetation dynamics and its response to climate change in Central Asia. *J. Arid Land.* 2016. URL: <http://doi.org/10.1007/s40333-016-0043-6> (дата обращения:).
34. Zhao X., Li Z., Zhu Q., Zhu D., Liu H. Climatic and drought characteristics in the loess hilly-gully region of China from 1957 to 2014. *PLoS One* 12, 2017.
35. Zhi Li, Yaning Chen, Gonghuan Fang, Yupeng Li. Multivariate assessment and attribution of droughts in Central Asia // *Scientific reports.* 2017.

References

1. Bajsholanov, S.S. (2010), “O povtoryaemosti zasuh v zernoseyushchih oblastyah Kazahstana”, *«Kazgidromet», Gidrometeorologiya i ekologiya*, no. 3, pp. 27–38.
2. Bajsholanov, S.S. (2016), *Ocenka zasushlivykh yavleniy v severnoj zernoseyushchej territorii Kazahstana*, Fizichna geografiya ta geomorfologiya.
3. Gruza, G.V., Ran'kova, E.Ya., Kleshchenko, L.K., Aristova, L.N. (2002), “O svyazyah klimaticheskikh anomalij na territorii Rossii s yavleniem El'-Nin'o – Yuzhnoe kolebanie”, *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 5, pp. 32–51.
4. *Izmenenie klimata: Obobshchennyj doklad Mezhpripravitel'svennoj gruppoj ekspertov po izmeneniyu klimata* (2007) [Climate change: Synthesis report by the Intergovernmental Panel on Climate Change], Geneva, Switzerland.
5. Isaev, E.K., Omurzakova, Sh.A. (2019), “O vozmozhnosti vyyavleniya i modelirovaniya zasuh v kyrgyzstane”, *Vestnik KRSU*, vol. 19, no. 8.
6. *Issledovanie i prognozirovanie zasuh v Kazahstane: Otchet o NIR (zaklyuchitel'nyj)* (2010), «Kazgidromet». GR № 0116RK00179. Inv.№ 0211RK00434, Astana.
7. *Issledovanie po ocenke problem zasuhi i modelej monitoringa zasuh v Central'noj Azii* (2020), Centr po chrezvychajnym situacijam i snizheniyu riska stihijnyh bedstvij. Centr po chrezvychajnym situacijam i snizheniyu riska stihijnyh bedstvij.
8. Klimenko, V.V. (2011), “Pochemu zamedlyaetsya global'noe poteplenie?”, *Doklady Akademii nauk RF*, vol. 440, no. 4, pp. 536–539.
9. Perevedencev, Yu.P., Shantilinski, K.N., Vazhnova, N.A., Naumov, E.P., Shumihina, A.V. (2012), “Izmeneniya klimata na territorii Privolzhskogo federal'nogo okruga v poslednie desyatiletija i ih vzaimosvyaz' s geofizicheskimi faktorami”, *Vestnik Udmurtskogo universiteta*, vol. 4, pp. 122–135.
10. Sal'nikov, V.G., Turulina, G.K., Polyakova, S.E., Skakova A.A. (2013), “Krupnomasshtabnye atmosferye processy i zasushlivost' v Kazahstane”, *Vestnik. KazNu. Ekologicheskaya seriya*, no. 2(1).
11. Spivak, L.F., Vitkovskaya, I.S. Terekhov, A.G., Batyrbaeva, M.Zh. (2011), “Monitoring dolgovremennyh izmenenij rastitel'nogo pokrova aridnyh i poluaridnyh zon Kazahstana s ispol'zovaniem dannyh distancionnogo zondirovaniya”, *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, vol. 8, no. 1, pp. 163–169.
12. Cherenkova, E.A. (2017), “Opasnaya atmosfernaya zasuha na evropejskoj chasti Rossii v usloviyah sovremennoho letnego poteplenii”, *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, vol. 2, pp. 130–143.
13. Anderson, L.O., Malhi, Y., Araga o LEOC, Ladle, R., Arai, E., Barbier, N., Phillips, O. (2010), “Remote sensing detection of droughts in Amazonian forest canopies”, *New Phytologist*, no. 187, pp. 733–750.
14. Barlow, M., Cullen, H., Lyon, B. (2002), *Drought in central and southwest Asia: La Nina, the warm pool, and Indian Ocean precipitation*, *J. Clim.*
15. Groll, M., Opp, C., Aslanov, I. (2013), “Spatial and temporal distribution of the dust deposition in Central Asia – results from a long-term monitoring program”, *Aeolian Res*, pp. 49–62, available at: <http://doi.org/10.1016/j.aeolia.2012.08.002>.
16. Hao, G., Anming, B. (2018), “Spatial and temporal characteristics of droughts in Central Asia during 1966–2015”, *Science of the Total Environment*.
17. Huang, A., Zhou, Y., Zhang, Y., Huang, D., Zhao, Y., Wu, H. (2014), *Changes of the Annual Precipitation over Central Asia in the Twenty-First Century Projected by Multimodels of CMIP5*, *J. Clim.*
18. Issanova, G., Abuduwaili, J. (2017), *Aeolian Processes in the Arid Territories of Central Asia*, Springer.
19. Kulikova, I.A., Kruglova, E.N., Kikeva, D.B., Sal'nikov, V.G. (2017), “Practical Predictability of the Standardized Precipitation Index on Monthly and Sea sonal Timescales”, *Russian Meteorology and Hydrology*, pp. 582–593.
20. Lioubimtseva, E., Cole, R. (2006), “Uncertainties of Climate Change in Arid Environments of Central Asia”, *Reviews in Fisheries Science and Aquaculture*, available at: <http://doi.org/10.1080/10641260500340603>.
21. Lioubimtseva, E., Henebry, G.M. (2009), Climate and environmental change in arid Central Asia: impacts, vulnerability, and adaptations. *J. Arid Environ*, vol. 73, pp. 29–49. pp. 963–977, available at: <http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.04.022>.

Метеорология

Рысалиева Л.С., Сальников В.Г.

22. Loboda, T.V., Giglio, L., Boschetti, L., Justice, C.O. (2012), "Regional fire monitoring and characterization using global NASA MODIS fire products in dry lands of Central Asia", *Front. Earth Sci.* pp. 196–205.
23. MetOffice (2014), *Climate risk an update on the science*, Met Office, Handley Center, Devon, UK.
24. Patel, N.R., Parida, B.R., Venus, V., Saha, S.K., Dadhwal, V.K. (2011), *Analysis of agricultural drought using vegetation temperature condition index (VTCI) from Terra/MODIS satellite data*. Environmental Monitoring and Assessment.
25. Qi, J., Kulmatov, R. (2008), "An overview of environmental issues in Central Asia", *Environmental Problems of Central Asia and Their Economic, Social and Security Impacts*, pp. 3–14.
26. Qi, J.G., Bobushev, T.S., Kulmatov, R., Groisman, P., Gutman, G. (2012), *Addressing global change challenges for Central Asian socio-ecosystems*, *Front. Earth Sci.* available at: <https://doi.org/10.1007/s11707-012-0320-4>.
27. Randerson, J.T., Chen Y., van der Werf, G.R., Rogers, B.M., Morton, D.C. (2012), *Global burned area and biomass burning emissions from small fires*, *J. Geophys.*
28. Spivak, L., Vitkovskaya, I., Batyrbayeva, M., Terekhov, A. (2010), "Detection of Desertification Zones Using Multi-Year Remote Sensing Data. NATO Science for Peace and Security Series", *Environmental Security Use of Satellite and In-Situ Data to Improve Sustainability*, Springer, pp. 235–241.
29. World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP) (2016), *Handbook of Drought Indicators and Indices (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines, Series 2*, Geneva.
30. Xu, H.J., Wang, X.P., Zhang, X.X. (2016), *Decreased vegetation growth in response to summer drought in Central Asia from 2000 to 2012*, *Int. J. Appl. Earth Obs.*
31. Xu, Y., Lin, Z., Wu, C. (2021), *Spatiotemporal Variation of the Burned Area and Its Relationship with Climatic Factors in Central Kazakhstan*. *Remote Sens.* available at: <https://doi.org/10.3390/rs13020313>.
32. Xu, H.J., Wang, X.P., Zhang, X. (2016), *Decreased vegetation growth in response to summer drought in Central Asia from 2000 to 2012*, *Int. J. Appl. Earth Obs.*, available at: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.07.010>.
33. Yin, G., Hu, Z., Chen, X., Tiyip, T. (2016), *Vegetation dynamics and its response to climate change in Central Asia*. *J. Arid Land*, available at: <https://doi.org/10.1007/s40333-016-0043-6>.
34. Zhao, X., Li, Z., Zhu, Q., Zhu, D., Liu, H. (2017), *Climatic and drought characteristics in the loess hilly-gully region of China from 1957 to 2014*, *PLoS One* 12.
35. Zhi, Li, Yaning, C., Gonghuan, F., Yupeng, Li. (2017), *Multivariate assessment and attribution of droughts in Central Asia*, Scientific reports.

Поступила в редакцию: 26.04.2021

Сведения об авторах

About the authors

Лаура Сергеевна Рысалиева

докторант кафедры метеорологии и гидрологии, Казахский Национальный университет им аль-Фараби; 050040, Республика Казахстан, Алматы, пр. Аль-Фараби, 71

Laura S. Ryssaliyeva

Doctoral student of the Department of Meteorology and Hydrology of the Al-Farabi Kazakh National University; 71, Al-Farabi av., Almaty, Kazakhstan, 050040

e-mail: marchoctmay@gmail.com

Виталий Григорьевич Сальников

доктор географических наук, профессор кафедры метеорологии и гидрологии, Казахский Национальный университет им аль-Фараби; 050040, Республика Казахстан, Алматы, пр. Аль-Фараби, 71

Vitaly G. Salnikov

Doctor of Geographical Sciences, Associate Professor, Department Meteorology and Hydrology of the Al-Farabi Kazakh National University; 71, Al-Farabi av., Almaty, Kazakhstan, 050040

e-mail: Vitali.Salnikov@kaznu.kz

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Рысалиева Л.С., Сальников В.Г. Исследование атмосферной засухи в Центральной Азии // Географический вестник = Geographical bulletin. 2021. № 2(57). С. 110–120. doi: 10.17072/2079-7877-2021-2-110-120.

Please cite this article in English as:

Ryssaliyeva, L.S., Salnikov, V.G. (2021). Study of atmospheric drought in Central Asia. *Geographical bulletin*. No. 2(57). Pp. 110–120. doi: 10.17072/2079-7877-2021-2-110-120.