

УДК 551.501.42

*к.т.н. Подлипенская Л. Е.,
Олейник Т. С.
(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР, lida.podlipensky@gmail.com)*

НАУЧНО-ФАКТОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЗАСУХИ НА ТЕРРИТОРИИ ДОНБАССА

Представлены результаты анализа достоверности прогнозирования засух с помощью таких индикаторов, как баланс влаги, гидротермический коэффициент и стандартизированный индекс осадков. Сопоставление вычисленных для территории Луганщины индикаторов засухи с фактическими историческими данными показало хорошую сходимость данных. Выделен индикатор СИО как наиболее информативный показатель засухи.

Ключевые слова: баланс влаги (БВ), гидротермический коэффициент (ГТК), засуха, научно-фактологический анализ, осадки, стандартизированный индекс осадков (СИО).

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В последние годы проблема засухи достаточно остро проявляется в Донбассе. Наблюдается значительное уменьшение поверхностного и подземного стока вод, что можно связать прежде всего с явным уменьшением количества осадков на данной территории.

Широко применяются различные численные показатели (индексы), способные установить засуху как явление, а также оценить ее интенсивность и степень тяжести последствий. Однако часто прогнозы засух, выполненные на основе различных показателей, бывают противоречивы и не совпадают с фактическими данными. В связи с этим проблема поиска оптимального сочетания индикаторов засухи, адаптированных к условиям территории Донбасса, является весьма актуальной.

Целью настоящей работы явилась проверка сходимости результатов идентификации засух на территории Донбасса с помощью различных индикаторов путем проведения научно-фактологического сравнительного анализа.

Объект исследования — явление засухи, которое возникает на некоторой территории на протяжении определённого интервала времени.

Предмет исследования — сравнительный анализ исторических данных о засухе

на территории Донбасса с расчетными прогнозируемыми данными.

Задачи исследования:

- сбор исторических данных о засушливых периодах на территории Донбасса;
- анализ индикаторов засухи (баланс влаги, гидротермический индекс, осадки) по существующей базе метеорологических данных;
- вычисление значений стандартизованного индекса осадков при различных степенях агрегации;
- проведение научно-фактологического сравнительного анализа.

Материалы и методы исследования. В настоящей работе использованы исторические сведения о засушливых периодах на территории Донбасса [1–3], показатели, диагностирующие засуху, такие как баланс влаги, гидротермический индекс, осадки [4] и стандартизированный индекс осадков (СИО или SPI). СИО вычислялся с помощью программы SPI Generator [5–6], в которой использовались метеорологические данные Луганской метеорологической станции [4].

Достоверность индикаторов устанавливалась путем применения научно-фактологического анализа, который предполагает сравнение исторических данных с определенными показателями на предмет соответствия результатов диагностики за-

сухи на определенной территории в конкретные периоды времени.

Понятие «засухи» как явления. Виды засух. Конвенция ООН по борьбе с опустыниванием дает следующее определение засухи: «Засуха — это природное явление, которое возникает, когда количество осадков ниже в сравнении с фиксированным уровнем, что может приводить к серьезным нарушениям» [7]. Основные её виды представлены в таблице 1.

По пространственным масштабам засушливые явления делятся на местные, зональные, межзональные, континентальные и глобальные.

Местные засухи охватывают до 10 % площади одной агроклиматической зоны и носят пестрый характер.

Зональные засухи могут включать от 10 до 100 % площади в пределах одной агроклиматической зоны.

Межзональные засухи занимают не менее двух агроклиматических зон с охватом от 10 до 35 % площади в каждой зоне.

Континентальные засушливые явления занимают не менее трех агроклиматических зон с общим охватом от 30 %.

Глобальные засушливые явления распространяются на значительную часть определенного полушария или не менее 10 % территории всех смежных континентов.

Засушливые явления представляют собой комплексное проявление естественных процессов, которые действуют однонаправленно в определенный промежуток времени на создание дефицита увлажнения на фоне высоких температур.

Весенняя засуха характеризуется, как правило, достаточно низкими температурами, низкой относительной влажностью воздуха, засушливыми ветрами. Этот тип засухи задерживает фазу всходов, ослабляет кущение и укоренение растений.

Летняя засуха характеризуется низкой относительной влажностью воздуха, высокой температурой, большой испаряемостью.

Осенняя засуха возникает на фоне понижения температуры воздуха, но из-за отсутствия осадков летом верхний слой почвы может быть значительно высушен. Если устанавливается антициклонический характер циркуляции, то возникает дефицит осадков и последующее высушивание почвы [1]. Схема развития засухи представлена на рисунке 1.

Таблица 1

Основные виды засух

Вид засухи	Характеристика
Атмосферная (метеорологическая)	Возникает на фоне длительного бездождевого периода с низкой влажностью и высокой температурой воздуха.
Гидрологическая	Является продолжительным периодом сухой погоды, который вызывает недостаток потребления воды из-за уменьшения стока (ниже установленных норм) и уменьшения содержания влаги в почве. Может длиться более года и захватывать более одного водосбора.
Почвенная	Наступает при усиленном высушивании грунта, в результате чего поступление воды к корням растений замедляется или прекращается. Связано с недостаточными весенними запасами воды в метровом слое грунта, поскольку на протяжении летних месяцев влага только тратится растениями, но не восполняется.
Сельскохозяйственная (агроклиматическая)	Оказывает влияние на урожайность территории. Связано с отсутствием дождя, но также может быть вызвано плохо спланированной сельскохозяйственной деятельностью.
Общая засуха	Возникает при сочетании проявлений атмосферной и почвенной засухи, которая опасна для растений из-за их неспособности пополняться влагой из почвы на фоне высоких температур воздуха.



Рисунок 1 Схема развития засухи

История засушливых явлений на территории Донбасса. Для земель современной территории Донбасса засушливые годы не являются необычными, поскольку практически каждый год локально фиксируются потери урожая из-за нехватки дождей. Так, в течение всего 18-го столетия 39 лет были засушливыми, такая ситуация повторилась и в 19-ом столетии. Известны случаи длительных засух или таких, которые в локальных местностях повторялись из года в год: 1888–1894, 1944–1954, 1999–2007 гг. Эти природные явления особенно часты в степной зоне, здесь без орошения практически невозможно устойчивое земледелие.

Донбасс в 1891 г. из-за засухи потерпел значительную потерю урожая. Это обусловило голод 1891–1892 гг., что вызвало распространение инфекционных болезней.

Во второй половине 20-го столетия засухи на территории Донбасса фиксировали в 1957, 1959, 1963, 1965, 1968, 1972, 1975, 1979, 1983, 1996 и 1999 гг. Для борьбы с засухами со второй половины 19-го столетия строили масштабные системы орошения полей. Так, в 1950–1980-х гг. появились крупнейшие ирригационные системы.

До недавнего времени благодаря им довольно успешно удавалось преодолевать засушливые периоды (так, в период 1999–2007 гг. районы, в которых функционировали такие системы, последствий засухи почти не ощутили). Однако из-за общего падения уровня воды в реках в летний период старая канальная система орошения теряет свою эффективность. В 21-ом столетии вследствие климатических изменений длительные засушливые периоды, вероятно, будут чаще и, соответственно, будут иметь негативные последствия. Так, засуха в 2003 г. сократила валовой сбор зерна и полностью сделала невозможным экспорт (в этом году зерно пришлось даже импортировать). Значительный ущерб аграрному сектору нанесла засуха в 2007 г., когда весной недостаток влаги фиксировали на территории Донбасса [1].

Примером последних экстремальных погодных условий является аномальная засуха 2020-го года. На территории ЛНР и ДНР выпало наименьшее количество осадков за одиннадцатилетний период наблюдений [3, 6]. Исаковское водохранилище, расположенное на р. Белой, начало усыхать

ввиду длительного отсутствия осадков. Стоит отметить, что данное водохранилище является важнейшим водоемом региона, поскольку его запасы воды использует Алчевский металлургический комбинат для нужд производственного процесса.

В этот год также обмелело Ольховское водохранилище (ЛНР) и другие водоемы и водотоки практически на всей территории Донбасса.

Описание индикаторов засухи. Для проведения научно-фактологического анализа использовались следующие индикаторы засухи: баланс влаги, гидротермический индекс и стандартизированный индекс осадков.

Баланс влаги (БВ) — показатель, равный разности между суммой осадков $\sum r$ и количеством испарившейся влаги $0,1\sum t$:

$$BV = \sum r - 0,1\sum t. \quad (1)$$

Баланс влаги измеряется в тех же единицах, что и сумма осадков, а именно в мм. Если БВ положительный, увлажнение может считаться достаточным, если отрицательный — недостаточным [4].

Влагообеспеченность какой-либо территории обычно характеризуют предложенным Г. Т. Селяниновым гидротермическим коэффициентом (ГТК). Определяется за отдельные месяцы как отношение месячного количества осадков $\sum r$ к сумме температур $\sum t$ за тот же месяц с коэффициентом $0,1$, т. е.:

$$ГТК = \frac{\sum r}{0,1\sum t}. \quad (2)$$

В этой формуле знаменатель $0,1\sum t$ за месяцы со средней суточной температурой выше 8°C представляет собой приближенную оценку величины испаряемости. Таким образом, ГТК является условным выражением баланса влаги и определяет отношение прихода влаги к ее расходу.

Если $ГТК > 1,0$ — увлажнение большинства сельскохозяйственных культур достаточное, а меньше — соответственно недостаточное [4].

Стандартизированный индекс осадков — это эффективный и гибкий индекс, который легко рассчитывать. Фактически единственным необходимым исходным параметром являются осадки. Помимо того, этот индекс в равной степени эффективен при анализе как влажных, так и сухих периодов/циклов.

СИО основан на вероятности осадков в любом временном масштабе. Вероятность наблюдаемых осадков преобразуется затем в индекс. Он используется в исследовательском или оперативном режиме в более чем 70-ти странах мира.

СИО был разработан для количественной оценки дефицита осадков во многочисленных временных масштабах [5], которые отражают воздействие засухи на состояние различных водных ресурсов. Состояние влажности почвы реагирует на аномалии осадков в относительно кратком масштабе. Состояние подземных вод, речного стока и резервуаров отражает долгосрочные аномалии осадков.

Расчет СИО для любого места основан на долгосрочной записи данных об осадках в течение желаемого периода. Эта запись аппроксимируется распределением вероятностей, которое затем преобразуется в нормальное распределение, с тем чтобы средний СИО для данного места и желаемого периода был равен нулю. Положительные значения СИО указывают на объем осадков выше среднего, а отрицательные — ниже среднего.

Ученые использовали систему классификации значений СИО, показанную ниже в таблице 2, для определения интенсивности засухи. Явление засухи наступает всякий раз, когда СИО является постоянно отрицательным, начиная со значения $-1,0$ или менее. Данное явление заканчивается, когда СИО становится положительным. Таким образом, каждое явление засухи характеризуется продолжительностью, определяемой его началом и концом, а также интенсивностью по каждому месяцу, в течение которого данное явление продолжается. Чем значения СИО находятся ниже отметки -1 , тем засуха суровее по своим последствиям.

Таблица 2
Значения СИО

Значение	Характеристика
2,0 +	экстремально влажно (ЭВ)
1,5–1,99	очень влажно (ОВ)
1,0–1,49	умеренно влажно (УВ)
–0,99–0,99	близко к норме (БН)
–1,0––1,49	умеренно сухо (УС)
–1,5––1,99	сильно сухо (СС)
–2 и меньше	экстремально сухо (ЭС)

В данной работе для проведения научно-фактологического анализа используются три вида СИО, вычисленных на основании значений месячных осадков по данным Луганской метеорологической станции за период с 1838 по 2020 годы.

Одномесечный СИО. Карта одномесечного СИО весьма похожа на карту, показывающую процент нормальных осадков за 30-дневный период. Фактически СИО представляет собой более точное представление месячных осадков благодаря нормализации распределения. Например, одномесечный СИО в конце ноября сравнивает одномесечные суммарные осадки за ноябрь в этот конкретный год с суммарными осадками в ноябре в течение всех зарегистрированных лет. Поскольку одномесечный СИО отражает краткосрочные условия, его применение может быть тесно связано с метеорологическими типами засухи наряду с краткосрочной влажностью почвы и стрессом растений, особенно во время вегетационного периода. В одномесечном СИО могут аппроксимироваться условия, воспроизведенные при помощи индекса влажности для растений, который является частью набора индексов в рамках индекса интенсивности засухи Палмера.

Шестимесечный СИО сравнивает осадки за текущий период с зарегистрированными историческими данными за такой же шестимесечный период. Например, шестимесечный СИО в конце сентября сравнивает суммарные осадки за период апрель–сентябрь со всеми прошлыми суммарными показателями за этот же период.

Шестимесечный СИО может быть весьма эффективным в качестве показателя осадков в течение конкретных сезонов. В зависимости от региона и времени года информацию на основе шестимесечного СИО можно также начинать связывать с аномальными речными потоками и уровнями водохранилищ.

Девятимесечный СИО является индикатором межсезонных режимов осадков в среднесрочных временных масштабах. Процесс развития засух обычно длится в течение одного или нескольких сезонов. Значения СИО ниже –1,5 для этих временных масштабов обычно являются хорошим индикатором того, что засушливость оказывает значительное воздействие на сельское хозяйство и может затронуть также другие секторы народного хозяйства [5].

Научно-фактологический анализ. Результаты проведенного исследования представлены в таблице 3. Данные приводятся только за те годы, когда по историческим сведениям и по значениям показателей БВ, ГТК и СИО, рассчитанным за один, шесть и девять месяцев, наблюдалось недостаточное увлажнение исследуемой территории. Стоит отметить, что большинство значений имеют характеристику «близко к норме» (БН), значение «умеренно влажно» встречалось достаточно редко. Баланс влаги представлен исключительно полученными значениями, где значения меньше нуля говорят о том, что увлажнения на исследуемой территории недостаточное. Гидротермический коэффициент также представлен полученными значениями, где значения менее единицы свидетельствуют о недостаточном увлажнении почвы.

Значения стандартизированного индекса осадков заменены на краткую характеристику степени увлажнения территории согласно обозначениям таблицы 2. В девятом столбце таблицы 3 отмечалось совпадение (+) или несовпадение (–) исторических данных с прогнозом засухи по представленным показателям.

ЭКОЛОГИЯ

Таблица 3

Результаты проведенного научно-фактологического анализа

Год	Месяц	Осадки, мм	ГТК	БВ	СИО ₁	СИО ₆	СИО ₉	+/-
1	2	3	7	8	4	5	6	9
1891	май	14	0,27	-37,77	БН	БН	УС	+
	август	5	0,07	-65,37	БН	БН	УС	
	октябрь	40	-	-	БН	УС	БН	
1957	февраль	11	-	-	УС	БН	БН	+
	апрель	3	0,08	-33,00	УС	УС	СС	
	июнь	0	0	-65,30	УС	СС	ЭС	
	июль	46	0,65	-24,68	УС	УС	БН	
	август	15	0,21	-56,30	СС	УС	БН	
	сентябрь	9	0,17	-44,70	СС	СС	БН	
	октябрь	22	-	-	СС	УС	БН	
	ноябрь	17	-	-	СС	ЭС	БН	
декабрь	48	-	-	УС	БН	БН		
1959	июнь	12	0,2	-48,90	БН	БН	СС	+
	август	4	0,06	-62,34	БН	БН	СС	
	ноябрь	9	-	-	БН	УС	УС	
	декабрь	24	-	-	УС	БН	БН	
1963	июль	17	0,23	-56,47	БН	БН	УС	+
1965	январь	7	-	-	БН	СС	УС	+
	февраль	47	-	-	БН	УС	УВ	
	март	11	-	-	БН	УС	БН	
	апрель	46	2,6	28,30	УС	БН	БН	
	июнь	13	0,22	-47,30	УС	БН	УС	
	июль	3	0,04	-66,13	СС	УС	ЭС	
	август	9	0,14	-57,65	СС	СС	УС	
	сентябрь	6	0,13	-39,60	СС	ЭС	УС	
	ноябрь	83	-	-	УС	СС	ОВ	+
	декабрь	41	-	-	УС	УС	БН	
1968	май	8	0,14	-48,73	БН	БН	СС	+
1972	январь	1	-	-	БН	БН	ЭС	+
	декабрь	6	-	-	БН	БН	СС	
1975	июнь	5	0,07	-67,90	БН	УС	ЭС	+
	сентябрь	27	0,55	-22,20	БН	УС	БН	
	октябрь	16	-	-	БН	УС	БН	
	ноябрь	40	-	-	БН	УС	БН	
	декабрь	21	-	-	УС	БН	БН	
1979	май	3	0,05	-60,55	БН	БН	ЭС	+
	июнь	5	0,08	-59,20	БН	БН	ЭС	
	август	28	0,39	-43,30	БН	СС	БН	
	сентябрь	11	0,23	-37,30	БН	СС	БН	
	октябрь	22	-	-	УС	ЭС	БН	
	ноябрь	26	-	-	СС	СС	БН	
декабрь	23	-	-	СС	УС	БН		
1983	сентябрь	2	0,04	-43,60	БН	БН	СС	+
1996	июль	7	0,09	-68,33	БН	БН	СС	+
	ноябрь	8	-	-	УВ	УВ	СС	

Продолжение таблицы 3

1	2	3	7	8	4	5	6	9
1999	июнь	11	0,16	-57,40	БН	БВ	СС	+
	сентябрь	21	0,45	-25,50	БН	УС	БН	
2003	май	2	0,03	-56,59	БН	БН	ЭС	+
	сентябрь	6	0,14	-38,10	БН	БН	УС	
	декабрь	11	-	-	БН	БН	УС	
2007	май	10	0,17	-49,97	БН	БН	СС	+
	июль	14	0,19	-58,54	БН	УС	УС	
	август	11	0,14	-65,88	УС	УС	БН	
	октябрь	21	-	-	УС	БН	БН	
2017	сентябрь	71	0,29	-37,20	БН	БН	УС	+
	октябрь	70	-	-	БН	БН	УС	
2020	январь	-	-	-	БН	УС	БВ	+
	март	-	-	-	БН	БН	УС	
	апрель	-	-	-	БН	БН	УС	
	июнь	-	-	-	БН	БН	ЭС	
	август	-	-	-	УС	СС	БН	
	сентябрь	-	-	-	УС	СС	ЭС	
	сентябрь	-	-	-	СС	СС	БН	
	ноябрь	-	-	-	ЭС	ЭС	БН	
декабрь	-	-	-	СС	СС	БН		

Из сравнения характеристик увлажнения территории по показателям БВ, ГТК и СИО можно сделать вывод, что в целом они дают коррелированные результаты. Разница между ними заключается в том, что показатели БВ, ГТК применяются только для теплых периодов года, в то время как индикатор СИО диагностирует засуху в любой период года, при этом определяя дополнительно другие параметры, такие как длительность и тяжесть засухи.

Считая гидрологическую засуху как наиболее заметную и с тяжелыми последствиями, выделим по таблице 3 (столбец 8) периоды ее наблюдений в форме экстремальных засух (ЭС): июнь 1957 г., июль 1965 г., январь 1972 г., май—июнь 1979 г., май 2003 г., июнь 2020 г.

Все случаи засухи, установленные с помощью показателей БВ, ГТК и СИО, нашли свое фактологическое подтверждение. Это подтверждает их высокую прогностическую ценность. Как наиболее сильный индикатор засухи необходимо

выделить показатель СИО, который позволяет идентифицировать атмосферную, гидрологическую и почвенную засуху во многочисленных временных масштабах.

Выводы и направление дальнейших исследований. Сопоставление фактических периодов засух, выявленных в истории Донбасса, с расчетными данными позволили установить достоверность диагностики засух с помощью рассмотренных индикаторов. Следовательно, такие показатели, как гидротермический коэффициент, баланс влаги и в особенности стандартизированный индекс осадков можно использовать с целью прогнозирования засушливых периодов на определенной территории для своевременного выявления и предотвращения негативного воздействия засух на окружающую среду.

В дальнейшем исследования будут направлены на рассмотрение превентивных мер по смягчению последствий засух на территории Донбасса.

Библиографический список

1. Семенова, И. Г. Синоптические и климатические условия формирования засух в Украине : монография [Текст] / И. Г. Семенова. — Харьков : ФЛП Панов А. М., 2017. — 236 с.
2. Географическое краеведение. Физическая география родного края [Текст] / Сост. В. Е. Панкина. — 2-е изд., доп. и перераб. — Донецк : Истоки, 2016. — 185 с.
3. Основные климатические угрозы для аграриев [Электронный ресурс] / AGGEEK : электронный журнал. — Режим доступа: <https://aggeek.net/ru-blog/osnovni-klimatichni-zagrozi-dlya-ukrainskih-agrariiv>.
4. Климатические показатели экологических факторов Луганской гидрометеостанции с 1838–2019 гг. В помощь дипломникам [Текст] / Сост. : И. Д. Соколов, Е. Д. Долгих, Е. И. Соколова. — Луганск : ЛНАУ, 2018. — 24 с.
5. Погода. Климат. Вода. Руководство для пользователей стандартизированного индекса осадков [Текст]. — Женева, Швейцария : Всемирная метеорологическая организация, 2012. — 8 с.
6. Мониторинг гидрологических засух по результатам многолетних данных Центра гидрометеорологии города Луганска [Текст] / Л. Е. Подлипенская, Н. П. Кусайко, И. А. Ладыш, Е. Д. Долгих // Экологический вестник Донбасса. — Алчевск : ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2021. — Вып. 2. — С. 83–91.
7. Конвенция Организации Объединенных Наций по борьбе с опустыниванием в тех странах, которые претерпевают от серьёзной засухи и/или опустынивания, особенно в Африке [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901893003>.

© Подлипенская Л. Е.

© Олейник Т. С.

*Рекомендована к печати к.т.н., проф. каф. ПГМ ДонГТИ Левченко Э. П.,
д.с.-х.н., зав. каф. ЭиП ЛГАУ Ладыш И. А.*

Статья поступила в редакцию 10.02.2022.

Ph.D. Podlipenskaya L. E., Oleynik T. S. (DonSTI, Alchevsk, LPR, lida.podlipensky@gmail.com)

SCIENTIFIC-FACTOLOGICAL ANALYSIS OF THE FEATURES OF DROUGHT OCCURENCE IN THE DONBASS AREA

The results of reliability analysis of drought forecasting using indicators such as moisture balance, hydrothermal coefficient and standardized precipitation index are presented. Comparison of drought indicators calculated for the territory of the Luhansk region with actual historical data showed good convergence of data. The SPI indicator is singled out as the most informative indicator of drought.

Key words: *moisture balance (BW), hydrothermal coefficient (HTC), drought, scientific and factual analysis, precipitation, standardized precipitation index (SPI).*