

комплекс. Проаналізовані особливості міжнародного співробітництва по охороні та збереженню біорізноманітності вказаних регіонів. В якості проблемного визначено екорегіон Кримський субсередземноморський лісовий комплекс.

Отмечено активное участие Украины в международном сотрудничестве по охране и сохранению биоразнообразия буковых лесов биогеографического региона Европейско-Средиземноморских горных смешанных лесов. Результатом такого сотрудничества является транснациональный объект "Древние и первозданные буковые леса Карпат и других регионов Европы". К этому объекту, в связи с невозможностью международного сотрудничества на аннексированной территории, не вошли уникальные буковые леса Крыма с буком восточным (*Fagus orientalis*), буком лесным (*Fagus sylvatica*), буком таврическим (*Fagus taurica*).

Приоритетной национальной задачей для налаживания плодотворного международного природоохранного сотрудничества определена необходимость разработки надлежащей Национальной инфраструктуры геопространственных данных.

Ключевые слова: биоразнообразия, Глобальный индекс живой планеты, экозона, биогеографический регион, екорегіон, список Global 200, международное сотрудничество, охрана и сохранение биоразнообразия, Пресноводный регион Дельта Дуная, екорегіон Карпатских горных лесов, екорегіон Кримський субсередземноморський лісовий комплекс, биосферные резерваты ЮНЕСКО.

<http://doi.org/10.17721/1728-2721.2019.75.12>
УДК 551.515

К. Каверіна, магістр,
І. Костирко, асп.,
Р. Олійник, канд. фіз.-мат. наук, доц.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ИНДЕКСАЦИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧНОЙ ПОСУХИ

Посуха – це екстремальна кліматична подія, яка негативно впливає на фізичне середовище та системи водних ресурсів, викликаючи порушення в гідрологічному циклі даного регіону. Це стохастична природна небезпека, що спричинена постійним дефіцитом опадів. Життєвий цикл посухи починається з метеорологічного явища, а подальший вплив реалізується в усьому гідрологічному циклі. Необхідні адекватні заходи для реагування та пом'якшення різних наслідків, спричинених посухами. Розробка та реалізація стратегій пом'якшення посухи та реагування на неї вимагає розуміння різних показників, які використовуються для дослідження посухи. Характеристики посухи є важливою умовою, що дозволяє здійснювати як ретроспективний аналіз, так і перспективне планування – оцінку ризику. Таким чином, потрібен засіб об'єктивної ідентифікації події посухи за часом, тривалістю виникнення, масштабом та суворістю прояву. Це можливо реалізувати за допомогою інтегральних показників, в які залучені основні характеристики посухи. Наразі запропоновано вже понад 150 індексів посухи, деякі з них сприймаються як оперативна інформація, що використовується для характеристик посухи за допомогою карт на регіональному та національному рівнях. Шляхом кількісного визначення рівня суворості та оголошення початку та кінця посухи індекси посухи на даний час допомагають у різних операціях, включаючи раннє попередження, моніторинг посухи та планування надзвичайних ситуацій. Зважаючи на їх різноманітність та постійний розвиток, важливо забезпечити всебічний огляд наявних показників метеорологічної посухи, що підкреслює їх різницю та вивчає тенденцію їх розвитку, і які можуть бути використані з врахуванням особливостей регіонального клімату.

Ключові слова: посуха, характеристики посухи, індекс, метеорологічна посуха.

Вступ. Посуха – кліматичне явище стохастичної природи, що виникає внаслідок значного дефіциту опадів. Посуха є частиною природного кліматичного циклу, який зазвичай вражає великі території і може тривати кілька місяців і навіть років, це складне явище з широкомасштабними екологічними та соціально-економічними наслідками і вважається в усьому світі однією з найдорожчих природних небезпек [2, 10, 12, 15]. Посуха може розглядатися як нормальна, періодична особливість клімату, хоча існує альтернативна думка, що це надзвичайна подія [3]. Однак точне, однозначне визначення посухи залишається поки що невизначеним [4]. Посуха, як правило, є результатом поєднання природних факторів, які можуть бути посилені антропогенними впливами, основною причиною будь-якої посухи є дефіцит опадів, який може спричинити дефіцит води, необхідний для функціонування природних екосистем та соціально-економічної сфери. Внаслідок зростаючої повторюваності цієї події у більшості регіонів світу, існує занепокоєння серед наукової та дослідницької громадськості щодо нездатності ефективно та своєчасно реагувати на її виникнення та пом'якшувати пов'язані з цим наслідки. Ефективне управління посухою вимагає адекватних знань та розуміння різних способів, що характеризують її виникнення. Характеристики посухи дозволяють проводити такі операції, як раннє попередження про посуху та аналіз ризику події [10], що дозволить ефективніше планувати надзвичайні ситуації. Це можливо за допомогою доступних індексів для аналізу різних типів посухи в різних секторах розвитку. Індекси посухи – це кількісні заходи, що характеризують рівень посухи шляхом засвоєння даних однієї або декількох змінних (показників), наприклад, та-

ких як опади та евапотранспірація, в єдине числове значення. Такий індекс легше використовувати, ніж необроблені дані індикатора. Індекси посухи відображають різні події та умови; вони можуть відображати аномалії сухості клімату (кількість опадів) або відповідають затримці гідрологічних впливів, таким як втрата вологи в ґрунті. Використовуючи порівняно просту методологію, індекси посухи перетворилися на основний інструмент для передачі рівнів посухи серед залучених суб'єктів. Деякі індекси на даний час використовуються для видання оперативних тижневих карт на основі посухи, які є загальнодоступними. Оскільки розробка індексу посухи може концептуально базуватися на множині факторів, то на тепер вже розроблено понад 150 індексів посухи [7, 17]. Вважається, що широке визначення посухи може призвести до більш повного аналізу та оцінки цього явища. Посуха не починається з екстремальних метеорологічних подій, її настання відбувається поступово, і вона зазвичай вражає різні кліматичні регіони, з різним рівнем інтенсивності та в різні періоди часу. У цьому контексті показники посухи – це об'єктивні показники стану системи, який може допомогти визначити настання, збільшення чи зменшення тяжкості та припинення посухи. Тим не менш, жоден окремих показник чи індекс не можуть точно описати настання та серйозність події. У зв'язку з цим ефективні системи раннього попередження про посуху повинні базуватися на декількох показниках, щоб повністю описати масштабність та серйозність даної події. Хоча жоден з основних індексів за своєю суттю не перевершує решту за будь-яких обставин, деякі показники для повного використання краще підходять, ніж інші. Характер індикатора, місцеві

умови, доступність даних та дійсність зазвичай визначають індикатор, який потрібно застосувати.

У цій роботі загальнодоступні показники метеорологічної посухи досліджуються на їх придатність для визначення інтенсивності посухи та її суворості. Індекси використовуються для надання чіткої та всебічної картини виникнення посухи в даній місцевості потребують різних типів даних, таких як кількість опадів, показники температуро-вологового режиму та інші. Вони виявилися набагато корисніші, ніж необроблені дані для прийняття рішень.

Метою пропонованого дослідження є індикація метеорологічної посухи найбільш поширеними метеорологічними показниками посушливості рекомендованими ВМО та їх адаптування до регіонального клімату.

Методи і матеріали дослідження. В даній роботі досліджувалися температурні аномалії в приземному шарі, які являють собою аномалії добового температурного режиму, для їх кількісного оцінювання використовувалися ряди максимальних та мінімальних добових температур, а також ряди щоденних опадів за період 1961-2017 рр. на метеостанції Київ. Кількісне оцінювання температурної аномалії, що обумовлена добовими температурними екстремумами, передбачає наявність температурних порогів, оскільки лише ті екстремальні температури, що долають поріг, розглядаються як температурні аномалії. Температурні порогові встановлювалися на основі середніх багаторічних щоденних екстремальних температур для в референтних періодів 1961-1990; 1971-2000 та 1981-2010 рр. Кліматична індексація дозволила провести аналіз тривалості та частоти метеорологічної посухи та оцінити ступені її прояву на основі загальноприйнятих індексів посухи [8], які дозволяють порівнювати посухи, що спостерігаються в сучасному кліматі, з посухами відповідних референтних періодів. У дослідженні порівнюється інтенсивність посухи за найбільш поширеними метеорологічними показниками посухи, що рекомендовані Комплексною програмою боротьби з посухою ВМО [9]. Індекси посухи представлені двома блоками – до першого увійшли індекси, що будуються лише на записах опадів; до другого індекси на записах опадів та температури.

Індекс децилів (Deciles Index, DI). Індекс DI групує щомісячні кількості опадів на десять категорій [6, 8,11]. Кожна з цих категорій названа децилом, перший децил, представляє кількість опадів, що не перевищує 10 % від найменшої кількості опадів; другий децил – не перевищує 20 % від найменшої кількості опадів. Ці децили тривають до тих пір, поки кількість опадів, визначених десяти децилом, не буде найбільшою кількістю опадів у довгостроковій перспективі запису. За визначенням, п'ятий децил є медіаною, а кількість опадів не перевищує 50 % від події протягом періоду запису. Децили згруповані в п'ять класифікацій: найнижчі децили 1-2; потім 3-4; 5-6; 7-8 і найвищі децили 9-10. Індекс надає точне статистичне оцінювання опадів з довгими кліматичними записами, які необхідні для розрахунку DI. Переваги: DI є корисним показником, у випадку, коли приймається управлінське рішення, стосовно пом'якшення наслідків. Недоліки: для обчислення децилів необхідний довгий кліматологічний запис.

Відсоток від норми опадів (Percent of Normal Precipitation PNI). Це метеорологічний показник, який описує посуху як відхилення опадів від кліматичної норми за референтний період. Відсоток від норми обчислюється діленням даної кількості опадів на нормовану кількість [3,6,9,19]. Період аналізу може змінюватись від одного місяця до року. Основною перевагою цього індексу є його простота та прозорість, що робить його спри-

ятливим для донесення рівня посухи суспільству [14]. Відсоток від норми дозволяє проводити аналіз для одного регіону та конкретного періоду протягом року. Статистичну конструкцію цього показника критикують за невідповідність [9], оскільки розподіли за сезонами та регіонами різні, цей показник не може бути використаний для порівняння посухи за сезонами та регіонами. Цьому методу не вистає надійності, необхідної для оперативного використання в плануванні та управлінні.

Індекс аномалії опадів (Rainfall Anomaly Index RAI). Індекс аномалії опадів заснований [15,19,20] на обчисленнях опадів, які являються єдиним ефективним фактором цього показника. RAI має певну гнучкість, оскільки застосовується в різних масштабах часу (місяць, рік), він використовує нормовані значення опадів на основі історії відповідної метеорологічної станції. Переваги: простий розрахунок, за допомогою одного входу (опадів). Недоліки: розраховується на основі повного набору даних. Дані місячних опадів (P) порівнюються з середньорічним значенням (\bar{P}), якщо $P > \bar{P}$ то RAI задається наступним рівнянням:

$$RAI = 3 \left[\frac{P - \bar{P}}{\bar{m} - \bar{P}} \right]$$

якщо $P < \bar{P}$, то RAI задається:

$$RAI = -3 \left[\frac{P - \bar{P}}{\bar{X} - \bar{P}} \right]$$

Стандартизований індекс опадів (Standardized Precipitation Index SPI). SPI розробили [3,6,7,16,23] та запровадили з метою виявлення та моніторингу посухи, використовуючи дані щомісячних опадів. Він призначений для визначення періодів посухи, а також суворості посухи на різних масштабах часу, таких як 1, 3, 6, 9 та 12 місяців. Однак об'єктивний вибір найкращого кроку за часом залежить від мети аналізу посухи. Як повідомляє Всесвітня метеорологічна організація, SPI базується на ймовірності опадів за будь-який часовий період. Переваги: єдиний вхідний параметр – опади; обчислюється для різних періодів часу; надає інформацію про ранню попередження і може бути використаний для оцінки тяжкості посухи; доступна повна процедура оцінки SPI [7]. Недоліки: для обчислення SPI необхідно використовувати неперервні довгострокові дані.

Індекс вологості (Aridity Index AI). AI – це найпростіший показник посушливості, заснований виключно на опадах [20]. Загальноприйнятим визначенням на основі опадів є те, що посушливий регіон отримує менше 250 мм опадів на рік. Цей критерій посушливості використовувався Міжурядовою групою з питань зміни клімату [13,21]. посушливості (AI) визначається на основі співвідношення щорічних опадів (P) до швидкості потенційного випаровування (ET_p), наступним чином:

$$AI = \frac{P}{ET_p}$$

Теплі посушливі райони мають низький рівень P , високий ET_p і дуже низькі значення AI.

Гідротермічний коефіцієнт Селянінова (Hydrothermal Coefficient of Selyaninov HTC). Це коефіцієнт зволоження [1] який визначається відношенням суми опадів до 0.1 суми температур за період часу з температурою вище за 10 °C. HTC має певні переваги – характеризує не тільки прибуткову частину водного балансу (опадів), а й непродуктивну витрату вологи (випаровуваність). HTC є достовірним показником зволоження в тих районах, для яких характерний однорідний тип річного ходу опадів. Окрім того, він об'єктивний і працює в достатньо широкому діапазоні температур та опадів.

Індекс посушливості Педя (Ped Index). Індекс посушливості використовується для визначення посухи Гідрометеорологічним центром Росії [18]. Перевагою цього показника є те, що він легко класифікує погодні умови (посушлива чи волога погода). Для розрахунку індексу *Ped*, використовується наступна формула :

$$Ped = \frac{\Delta T}{\sigma_T} - \frac{\Delta P}{\sigma_P}$$

де *P* – загальна річна кількість опадів (мм); *P_i* – середньомісячна кількість опадів в *i*-ому місяці (мм); *T* – середньомісячна температура повітря (° C); ΔT – відхилення температури (° C); ΔP – відхилення опадів (мм); σ_T – стандартне відхилення температури (° C); σ_P – стандартне відхилення опадів (мм). *Ped* індекс залежить від зміни температури та опадів. Позитивні значення індексу відповідають сухій погоді або більш теплому температурному режиму, тоді як негативні значення *Ped* – вологій погоді.

Стандартизований індекс евапотранспірації і опадів (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index SPEI). SPEI заснований на записах опадів і температури [9, 22], його перевага в можливості включення впливу мінливості температури на оцінку посухи. Процедура обчислення індексу є детальною і включає кліматичний водний баланс, накопичення дефіциту/надлишку в різні часові масштаби та пристосування до логістично-логістичного розподілу ймовірностей. Розрахунок SPEI аналогічний стандартизованому індексу опадів (*SPI*), але він включає ще температуру. Для обчислення використовуються щомісячні (або щотижневі) опади в якості вхідних даних. SPEI використовує щомісячну (або щотижневу) різницю між опадами та *PET* (Потенційна евапотранспірація – кількість води, яка могла б виділитися шляхом евапотранспірації при певному режимі температури і вологості, виражається в мм водяного стовпа). Перший крок, розрахунок *PET*, важкий через залучення численних параметрів, включаючи температуру поверхні, вологість повітря, надходження випромінювання, тиск водяної пари тощо [5]. Показник посухи, SPEI використовує основу *SPI*, але включає температурну складову, що дозволяє індексу враховувати вплив температури на розвиток посухи за допомогою базового розрахунку водного балансу. SPEI має шкалу інтенсивності, в якій обчислюються як позитивні, так і негативні значення, ідентифікуючи вологі та сухі події. Він може бути розрахований на масштабах часу від 1 місяця до 48 місяців і більше. Вхідні параметри: щомісячні дані опадів та температури. Переваги: включення температури разом із даними про опади, що дозволяє SPEI враховувати вплив температури на ситуацію із посухою; застосовується для всіх кліматичних режимів; результати є порівняльними, оскільки вони стандартизовані; SPEI ідеальний показник при розгляді впливу зміни клімату на виході моделі в різних майбутніх сценаріях. Недоліки: вимога до серійно повного набору даних як для температури, так і для опадів; SPEI щомісячний індекс, тому він не в змозі бути швидко визначеним, коли ситуації із посухою стрімко розвивається.

Результати дослідження. Розрахунок індексів посухи передбачає дослідження впродовж референтного періоду. У зв'язку з цим необхідно було визначитися відносно якого періоду розглядати кліматичні аномалії сьогодення. Аналіз індексів посухи за референтні періоди

1961-1990 рр.; 1971-2000 рр. та 1981-2010 рр. для календарного літа показав, що індекси, зокрема, *AI*, *SPI* та *SPEI* практично не змінюються і знаходяться в середині рівня прояву – норма. У зв'язку з цим було прийнято рішення проводити дослідження аномалій сучасного клімату відносно референтного періоду 1981-2010 рр. Для кожного літнього місяця проведено розрахунок вищезначених індексів посухи (табл. 1). У першому десятиріччі референтного періоду помітна посуха спостерігалася лише в серпні 1984 року; в другому десятиріччі двічі – у червні 1992 та 1999 року. Починаючи з 1999 року і до кінця референтного періоду посушливість літніх місяців суттєво зросла, спостерігається стійка тенденція до зростання частоти цієї події. Класифікація посухи за інтенсивністю прояву, як аномалія клімату, поводитися на основі шкали, що запропонована авторами досліджуваних індексів посухи. Оскільки шкали для різних індексів мають незначні відмінності в деталізації опису події, тому було вирішено запропонувати дещо грубішу універсальну шкалу оцінки посухи, яка б задовольняла всі індекси посухи (табл. 2). У хронологічному порядку, відповідно до шкали інтенсивності прояву посухи (табл. 2), виділені посушливі місяці календарного літа, що представлені в табл. 3. Реакція індексів посухи виявилася не тривіальною. Аналіз первинних даних (приземна максимальна, мінімальна температура повітря та опади) дозволив інтерпретувати рангові оцінки посухи. Встановлено, що посухи в липні 2001 та 2002 року виявилися екстремальними, згідно з індикаторними оцінками, для яких показники посушливості за всіма індикаторами однакові. При цьому кількість опадів за вказаний період склала відповідно < 10 % та < 20 % від норми, а перевищення максимальної температури, відповідно на +4.7 та +4.1 °C. Таким чином, зміна в місячних сумах опадів на рівні 10 % не вплинула на рівень прояву інтенсивності події. Третя за рангом посуха (червень 2004 р.), з метеорологічними показниками: опади < 10 % від норми; температурне перевищення, відповідно – 0.9 °C, отримала практично ті ж самі індикаторні оцінки, виключенням виявив лише індекс *Ped*, що вірогідно обумовлено низькою температурою, яка не перевищила норму. Індекси посушливості для червня 2010 року, виявилися помітно нижчими (*AI*, *PNI*, *SPI* та *DI*), що пов'язано з опадами, оскільки для вказаного періоду сума місячних опадів склала вже 30% від норми, а відмічені індекси визначаються лише записами опадів (окрім *AI*). Достатньо посушливим виявився серпень 1984 та 2001 року, половина індексів оцінила цю подію як екстремальну. Для всіх інших посушливих місяців календарного літа референтного періоду індикаторні оцінки помітно нижчі. Аналіз оцінок посушливості сучасного періоду вказує на зростання (удвічі) частоти цієї події відносно референтного періоду. Екстремальний рівень посухи відмічений в липні 2014, 2016 та 2017 року. Екстремальна посуха сучасного періоду (липень 2016 р.) отримала ті ж індикаторні оцінки, що й екстремальні посухи референтного періоду. Оскільки метою даного дослідження є пошук найбільш адаптованих до місцевого клімату індексів посухи, то для її реалізації ефективним виявився порівняльний аналіз вибірок якісних показників інтенсивності посухи, що виникали у часовому масштабі місяць (календарне літо) в досліджуваній референтній період на фіксованій території (табл. 3).

Таблиця 1. Індекси посухи референтного періоду 1981-2010 рр. для календарного літа м. Київ

Рік	Червень							Липень							Серпень									
	AI	PNI	SPI	SPEI	HTC	Ped	DI	RAI	AI	PNI	SPI	SPEI	HTC	Ped	DI	RAI	AI	PNI	SPI	SPEI	HTC	Ped	DI	RAI
1981	0,41	50,8%	-0,76	-1,08	0,76	2,39	2	-2,52	0,90	146,4%	1,05	1,05	1,60	-1,05	9	3,24	0,43	77,7%	-0,07	0,10	0,85	0,73	4	-1,12
1982	0,77	78,4%	-0,13	0,11	1,45	-0,78	5	-0,55	1,08	157,8%	1,21	1,59	1,93	-2,63	10	4,04	0,55	99,5%	0,29	0,45	1,03	-0,80	6	-0,02
1983	0,60	64,2%	-0,43	-0,32	1,11	0,31	3	-1,56	0,29	45,1%	-1,04	-0,78	0,53	0,71	2	-3,84	0,37	68,7%	-0,25	-0,18	0,73	-0,03	4	-1,58
1984	1,52	145,7%	0,92	1,17	2,89	-3,23	9	4,26	0,72	103,4%	0,34	0,58	1,34	-1,75	6	0,24	0,07	12,8%	-2,08	-1,15	0,14	-0,13	1	-4,40
1985	0,89	87,6%	0,04	0,34	1,64	-1,21	6	0,11	1,00	140,1%	0,96	1,36	1,77	-2,57	8	2,81	0,24	48,7%	-0,69	-0,75	0,47	-0,28	3	-2,59
1986	0,92	100,7%	0,27	0,38	1,66	0,18	7	1,04	0,81	128,8%	0,78	0,75	1,54	-1,34	8	2,02	0,93	179,2%	1,30	1,29	1,80	-2,33	9	3,99
1987	0,65	69,3%	-0,32	-0,18	1,21	-0,07	4	-1,20	0,55	90,7%	0,10	-0,13	1,02	0,19	5	-0,65	0,82	135,4%	0,79	1,13	1,66	0,81	8	1,79
1988	1,10	108,4%	0,39	0,68	1,86	-1,14	8	1,59	0,47	77,6%	-0,18	-0,39	0,82	1,04	3	-1,56	0,67	122,0%	0,62	0,72	1,33	0,58	8	1,11
1989	1,48	168,5%	1,20	1,22	2,71	-1,57	10	5,88	0,59	90,3%	0,09	0,09	1,07	-0,52	4	-0,68	0,46	87,2%	0,09	0,10	0,90	-0,47	6	-0,65
1990	0,82	80,2%	-0,10	0,21	1,50	-1,03	5	-0,42	0,45	69,4%	-0,37	-0,34	0,85	-0,19	2	-2,14	0,53	102,7%	0,34	0,32	1,10	-1,24	7	0,14
1991	0,92	101,2%	0,27	0,39	1,71	-0,39	8	1,08	0,55	87,4%	0,03	-0,06	0,94	0,42	4	-0,88	0,48	86,1%	0,07	0,27	0,91	0,98	5	-0,70
1992	0,32	30,0%	-1,27	-1,28	0,50	1,65	2	-4,00	0,51	86,7%	0,02	-0,32	0,97	0,53	3	-0,93	0,24	56,2%	-0,51	-1,13	0,49	0,44	3	-2,21
1993	0,88	90,8%	0,10	0,32	1,71	-1,15	7	0,34	1,00	150,0%	1,10	1,35	1,90	-2,53	9	3,50	0,48	85,3%	0,06	0,24	0,98	-1,28	5	-0,74
1994	0,95	91,6%	0,11	0,45	1,78	-1,68	7	0,39	0,56	91,4%	0,12	-0,06	1,0	0,27	5	-0,60	0,65	119,4%	0,58	0,67	1,25	-0,03	7	0,98
1995	0,48	56,6%	-0,61	-0,78	0,88	1,73	3	-2,10	0,53	87,7%	0,04	-0,17	0,98	0,27	4	-0,86	0,58	118,3%	0,57	0,39	1,20	-0,40	7	0,93
1996	0,66	76,3%	-0,18	-0,25	1,28	0,61	5	-0,70	0,60	98,2%	0,25	0,03	1,16	-0,33	6	-0,12	0,38	72,2%	-0,18	-0,18	0,76	-0,47	4	-1,40
1997	0,84	89,6%	0,07	0,24	1,54	-0,35	6	0,25	0,86	128,6%	0,78	0,95	1,49	-1,38	8	2,00	0,30	55,5%	-0,53	-0,31	0,58	0,65	3	-2,25
1998	0,56	65,4%	-0,40	-0,50	1,05	1,20	3	-1,48	0,80	122,2%	0,67	0,75	1,43	-1,22	7	1,55	0,51	91,2%	0,16	0,32	1,01	-0,27	6	-0,45
1999	0,37	48,7%	-0,81	-1,37	0,69	3,22	2	-2,67	0,67	112,8%	0,51	0,26	1,15	0,50	6	0,90	1,14	209,2%	1,60	1,67	2,20	-0,42	10	5,51
2000	0,61	67,6%	-0,36	-0,32	1,20	0,17	4	-1,33	0,74	114,2%	0,54	0,55	1,37	-1,11	7	1,00	0,15	31,0%	-1,22	-1,15	0,30	0,34	2	-3,48
2001	1,60	158,1%	1,08	1,26	2,96	-3,04	10	5,14	0,04	8,1%	-3,08	-1,82	0,08	4,55	1	-6,43	0,12	25,9%	-1,41	-1,31	0,25	3,49	1	-3,74
2002	1,22	131,6%	0,67	0,85	2,29	-1,64	10	7,92	0,10	19,3%	-2,15	-1,67	0,19	3,98	1	-5,64	1,21	235,2%	1,84	1,80	2,36	-0,53	10	6,83
2003	0,24	26,9%	-1,54	-1,42	0,47	1,27	1	-4,23	0,51	84,5%	-0,03	-0,28	0,91	0,73	3	-1,09	1,06	198,0%	1,49	1,54	2,08	-1,14	9	4,94
2004	0,06	6,8%	-2,86	-2,05	0,12	1,54	1	-5,67	0,94	156,5%	1,19	1,18	1,76	-1,40	10	3,96	1,08	205,7%	1,57	1,58	2,05	-1,99	10	5,33
2005	1,11	115,7%	0,50	0,70	2,11	-1,48	9	2,11	0,23	40,6%	-1,19	-1,21	0,43	2,16	1	-4,15	0,70	136,0%	0,80	0,76	1,36	-0,43	8	1,82
2006	1,17	124,1%	0,63	0,79	2,15	-1,29	9	2,71	0,54	94,8%	0,18	-0,23	1,03	0,62	5	-0,37	0,43	82,2%	0,01	-0,01	0,83	0,33	5	-0,90
2007	0,73	87,9%	0,04	-0,09	1,37	1,08	6	0,13	0,87	153,6%	1,15	0,91	1,64	-0,66	10	3,75	0,73	152,0%	1,00	0,81	1,42	-0,64	9	2,62
2008	0,92	103,8%	0,32	0,38	1,77	-0,36	8	1,26	0,69	116,7%	0,58	0,34	1,29	-0,22	7	1,17	0,19	43,3%	-0,84	-1,24	0,40	0,98	2	-2,86
2009	0,53	65,9%	-0,39	-0,71	1,02	1,80	4	-1,44	0,31	52,5%	-0,81	-0,92	0,55	1,81	2	-3,33	0,12	24,8%	-1,45	-1,17	0,26	2,01	1	-3,79
2010	0,20	25,7%	-1,59	-2,08	0,37	3,51	2	-4,32	0,74	144,4%	1,02	0,37	1,35	1,15	9	3,11	0,16	38,7%	-0,97	-1,73	0,31	3,14	2	-3,09

Необхідно зазначити, що індекс RAI, який будується лише на записах опадів, виявився неефективним, оскільки 90 % посушливих місяців календарного літа він оцінив як екстремальну подію. З тих же міркувань можна визнати неефективним індекс HTC, які відповідно 75 % досліджуваного посушливого масиву оцінив також, як екстремальну подію. У даному випадку можна стверджу-

вати про недостатню чутливість цих індексів до інтенсивності посухи. У свою чергу, індекс AI жодного разу не зафіксував екстремальний рівень посухи, він продемонстрував слабку чутливість. Індекс SPEI лише 10 % посушливих літніх місяців оцінив як екстремальну подію. Всі інші індекси (DI, PNI; SPI; Ped) приблизно однаково оцінили екстремальну посушливість.

Таблиця 2. Класифікація інтенсивності посухи

Рівень прояву		PNI, %	RAI	AI	Ped	HTC	SPI	SPEI	DI
Екстремальна посуха	Е	<20	>- 3	<0.03	>3	<0.4	< -2.0	<-2.0	< 1
Сильна посуха	С	20-39	-1.5 /- 3.0	0.03-0.19	2-2.99	0.40-0.49	-1.50/ -1.99	-1.50 /-1.99	1-2
Помірна посуха	П	40-79	-0.5 / -1.5	0.20-0.49	1-1.99	0.50-0.69	-1.00/ -1.49	-1.00/-1.49	3-4
Норма	Н	80-119	0.5/-0/5	0.50-0.65	0/ -0.99	0.70-1.29	-0.99/ 0.99	-0.99/0.99	5-6
Помірно зволожений	ПЗ	120-159	0.5/1.5		-1/ -1.99	1.30-1.69	1.00/1.49	1.00/1.49	7-8
Сильно зволожений	СЗ	160-180	1.5/3.0		-2/ -2.99	1.7-2.0	1.50/1.99	1.50/1.99	9-10
Екстремальний зволожений	ЕЗ	>180	>3		<-3	>2	> 2.0	>2.0	>10

Таблиця 3. Інтенсивність посухи місяця календарного літа у період 1981-2017 рр. (м. Київ)

Рік	Місяць	Індекси метеорологічної посухи								Ранг посухи
		AI-1	PNI-1	SPI-1	SPEI-1	HTC-1	Ped-1	DI-1	RAI-1	
Референтний період										
1984	Серпень	С	Е	Е	П	Е	П	С	Е	5-6
1992	Червень	П	С	П	П	С	П	С	Е	13
1999	Червень	П	П	П	П	Н	С	С	С	14-15
2000	Серпень	С	С	П	П	С	С	С	Е	10-11
2001	Липень	С	Е	Е	С	Е	Е	Е	Е	1-2
2001	Серпень	С	С	П	П	Е	Е	Е	Е	5-6
2002	Липень	С	Е	Е	С	Е	Е	Е	Е	1-2
2003	Червень	П	С	С	П	Е	П	Е	Е	9
2004	Червень	С	Е	Е	Е	Е	П	Е	Е	3
2005	Липень	П	П	П	П	Е	С	Е	Е	10-11
2008	Серпень	С	П	Н	П	Е	Е	С	С	12
2009	Липень	П	П	Н	Н	П	С	С	Е	14-15
2009	Серпень	С	С	П	П	Е	С	Е	Е	7-8
2010	Червень	П	С	С	Е	Е	Е	С	Е	4
2010	Серпень	С	С	Н	С	Е	Е	С	Е	7-8
Сучасний період										
2013	Серпень	С	С	П	Н	Е	П	С	Е	5
2014	Червень	С	С	П	П	П	П	С	Е	6
2014	Липень	С	С	Е	П	Е	С	Е	Е	3
2015	Червень	Н	С	П	Н	П	С	С	Е	7
2016	Липень	С	Е	Е	С	Е	Е	Е	Е	1
2016	Серпень	С	С	С	П	Е	С	Е	Е	4
2017	Липень	С	Е	Е	С	Е	С	Е	Е	2

Таблиця 4. Інтенсивність посухи календарного літа у період 1981-2017 рр. (м. Київ)

Рік	Індекси метеорологічної посухи							Ранг
	PNI-3	SPI-3	SPEI-3	HTC-3	Ped-3	DI-3	RAI-3	
Референтний період								
1981	Н	Н	Н	Н	П	П	П	8
1983	П	П	Н	Н	П	Е	Е	4
1987	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	13-16
1990	Н	Н	Н	Н	Н	П	П	9-10
1991	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	13-16
1992	П	Н	Н	П	П	Е	Е	3
1995	Н	Н	Н	Н	Н	П	П	9-10
1996	Н	Н	Н	Н	Н	П	С	7
1997	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	13-16
1998	Н	Н	Н	Н	Н	П	Н	11-12
2000	П	Н	Н	Н	Н	С	С	5
2001	Н	Н	Н	Н	С	С	С	6
2003	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	13-16
2008	Н	Н	Н	Н	Н	П	Н	11-12
2009	П	С	С	П	Е	Е	Е	1
2010	П	П	С	П	Е	С	Е	2
Сучасний період								
2013	Н	Н	Н	Н	П	П	С	5
2014	П	Е	С	С	Е	Е	Е	1
2015	П	Н	П	Н	С	С	Е	4
2016	П	П	П	П	Е	Е	Е	2
2017	П	С	С	П	С	Е	Е	3

Подібне дослідження ефективності індикаторів посухи було проведено для часового масштабу – календарне літо (табл. 4). Коли кліматична ситуація посухо-вологого режиму близька до нормальної, практично всі індекси однотайно це фіксують (1987; 1990; 1991; 1995; 1997; 1998; 2003 та 2008 рр.). Проте із зростанням посушливості виникають розбіжності в індикаторних оцінках (1992; 2009 та 2010 рр.). Календарне літо 2009 року, згідно з отриманими значеннями індексів посухи, виявилося найбільш посушливим – *Ped*, *DI* та *RAI* оцінили його як екстремальна посуха; *SPI* та *SPEI* як сильна посуха; *PNI* та *HTC* як помірна. Порівнюючи індикаторні оцінки різного часового масштабу (табл. 3; табл. 4) необхідно зазначити, що індекси *PNI* та *HTC* суттєво втратили чутливість із зростанням масштабу часу. Неefективність індексу *RAI* зберіглася і для цього часового вікна, особливо за сучасний період, це екстремальне оцінювання посухи. Значно краще проявив себе індекс *DI*, не втратили чутливості в оцінюванні інтенсивності посухи *SPI*, *SPEI* та *Ped*. Для встановлення тісноти статистичного

зв'язку між індексами посухи застосовувалися методи непараметричної статистики, зокрема, коефіцієнт кореляції тау Кандела, оскільки малий об'єм вибірки не дозволяє емпіричний закон розподілу значень індексів посухи апроксимувати нормальним законом. Результати кореляційного аналізу індексів посухи, які побудовані лише на записах опадів, вказали на високий коефіцієнт кореляції цих індексів між собою (0,8-0,9), це дає підстави залишити в цьому блоці тільки *DI* та *SPI*, враховуючи втрату чутливості *PNI* при оцінці інтенсивності посухи в масштабі календарне літо. Аналогічно був проведений аналіз для індексів посухи, що будуються на записах опадів та температури. Кореляція між індексами цього блоку виявилася дещо нижчою (0,7-0,8), проте достатньо високою. З врахуванням критики, яку зазнали індекси *HTC* та *AI*, була побудована кореляційна матриця для ефективних індексів, що залишилися у різних блоках (табл. 5), яка дає підстави стверджувати про рівну зваженість індексів *DI*, *SPI*, *Ped* та *SPEI* особливо на масштабі місяць.

Таблиця 5. Кореляційна матриця

Kendall Tau Correlations					
Ефективні індекси посухи					
Виділені кореляції є значущими при $p < 0,050$					
Індекси посухи	<i>SPEI-3</i>	<i>Ped-3</i>	Індекси посухи	<i>SPEI-1</i>	<i>Ped-1</i>
<i>DI-3</i>	0,74	-0,59	<i>DI-1</i>	0,60	-0,48
<i>SPI-3</i>	0,82	-0,58	<i>SPI-1</i>	0,61	-0,44

Висновки. Існують різні індекси, що характеризують різні типи посухи за різними показниками. Вони мають як сильні, так і слабкі сторони, при цьому жоден індекс, залучений до аналізу, однозначно не перевершив решту, проте деякі з них виявилися кращими із-за своєї чутливості. Наприклад, індекси *SPI* та *SPEI* в досліджуваному масиві посушливих місяців змогли ідентифікувати посухи усіх рівнів прояву. Достатньо чутливими виявилися також *DI* та *Ped*. Оскільки для всебічного дослідження посухи необхідно комбінувати показники, то, виходячи з отриманих результатів, найбільш ефективними виявилися вищезгадані індекси посухи, при цьому необхідно зазначити, що вони базуються на різних кліматичних записах. Проте остаточний вибір індексу залежить від мети дослідження.

Список використаних джерел:

1. Селянинов Г.Т. (1958) Происхождение и динамика засух. Г.Т. Селянинов //Засухи в СССР. Их происхождение повторяемость и влияние на урожай. Под ред. А.И.Руденко. – Л.Гидрометеоздат,1958. – С. 5-30.
2. Хохлов В.М., Ермоленко Н.С. Просторово-часова мінливість посух в східноєвропейському секторі в умовах глобальних змін клімату. Український гідрометеорологічний журнал, 2012, №11. – С.128-134.
3. Agwata, J. F. (2014). A Review of Some Indices used for Drought Studies. Civil and Environmental Research, 6(2), 14–21.
4. Akshaya Prabha A.V., Pandiyarajan G.K., Ravikumar G. Meteorological and Hydrological Drought Assessment – A Review. International Journal of Scientific & Engineering Research Volume 8, Issue 10, October-2017.97 ISSN 2229-5518.
5. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith, 1998: Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56,300 pp.
6. Bachmair S., Stahl K., Collins K., Hannaford J., Acreman M., Svoboda M., Overton I. C. (2016). Drought indicators revisited: the need for a wider consideration of environment and society. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 3(4), 516–536. <https://doi.org/10.1002/wat2.1154>
7. Doan Quang Tri, Tran Tho Dat, Dinh Duc Truong. Application of Meteorological and Hydrological Drought Indices to Establish Drought Classification Maps of the Ba River Basin in Vietnam. Hydrology 2019, 6, 49; doi:10.3390/hydrology6020049.
8. Gibbs W.J. and Maher J.V., 1967. Rainfall. deciles as drought indicators, Bureau of Meteorology Bulletin No. 4, Commonwealth of Australia, Melbourne, Australia.
9. Handbook of Drought Indicators and Indices WMO-No1173.-2016.

10. Hayes, M.J., 2003. Drought indices, national Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln <http://www.drought.unl.edu/whatis/indices.htm#spi>
11. Indiana Department of Natural Resources. (2015). Review of available drought indices. Review of Available Drought Indices, (Cmi). Retrieved from http://www.in.gov/dnr/files/ws-Final_droughtindices.pdf
12. Ionita M., Tallaksen L., Kingston D., Stagge J., Laaha G., Van Lanen H., Scholz P., Chelcea S., Haslinger K. The European 2015 drought from a climatological perspective. Hydrol. Earth Syst. Sci., 21, 1397–1419, 2017 [doi:10.5194/hess-21-1397-2017](http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/21/1397/2017/)
13. IPCC. Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. In Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment, Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., Hanson, C.E., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2007; Available online: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/lwg2>
14. Keyantash, J. and Dracup, J.A. (2002) The Quantification of Drought: An Evaluation of Drought Indices. Bulletin of the American Meteorological Society, 83, 1167
15. Kogan F. N., 2000. Contribution of remote sensing to drought early warning. Proceedings of an expert group meeting held on Warning Systems for Drought Preparedness and Drought Management. Lisbon, Portugal, . 5-7 September.
16. McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist, 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, California,17–22 January 1993. Boston, American Meteorological Society, 179–184.
17. Niemeier, S. New drought indices, options méditerranéennes. Sér. A: Sémin. Méditerr. 2008, 80, 267–274. Available online: <http://om.ciheam.org/om/pdf/a80/00800451.pdf> (accessed on 6 June 2019).
18. Pedey, D.A. On indicators of droughts and wet conditions (in Russian). Proc. USSR Hydrometeorol. Centre Russian Meteorol. Hydrol. 1975, 156, 19–39.
19. Saeid Eslamian, Kaveh Ostad-Ali-Askari, Vijay P. Singh, Nicolas R. Dalezios, Mohsen Ghane, Yohannes Yihdego, Mohammed Matouq. A Review of Drought Indices. International Journal of Constructive Research in Civil Engineering (IJCRCE) Volume 3, Issue 4, 2017, PP 48-66 ISSN 2454-8693 (Online) DOI: <http://dx.doi.org/10.20431/2454-8693.0304005> www.arcjournals.org.
20. Stadler, S.J. Aridity indexes. In Encyclopedia of World Climatology; Oliver, J.E., Ed.; Springer: Heidelberg, Germany, 2005; pp. 89–94.
21. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). Map of the World Distribution of Arid Regions: Map at Scale 1:25,000,000 with Explanatory Note; MAB Technical Notes 7; UNESCO: Paris, France, 1979.
22. Vicente-Serrano, S.M., S. Begueria and J.I. Lopez-Moreno, 2010: A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. Journal of Climate, 23:1696–1718.
23. Zargar, A., Sadiq, R., Naser, B., & Khan, F. I. (2011). A review of drought indices. Environmental Reviews, 19(1), 333–349. <https://doi.org/10.1139/a11-013>

References:

1. Selyaninov G. T. Proishozhdeniye i dinamika zasuh. G. T. Selyaninov// Zasuhi v SSSR. Ii proishozhdeniye povtoryaemost' i vliyanie na urozhay. Pod red. A. I. Rudenko – L. Gidrometizdat, 1958 -S. 5-30.
2. Khokhlov V. N., Yermolenko N. S. Spatiotemporal variability of drought in the East Europe in the context of global climate change. Ukrainian Hydrometeorological Journal, 2012, № 11. -p. 128-1343. Agwata, J. F. (2014). A Review of Some Indices used for Drought Studies. Civil and Environmental Research, 6(2), 14–21.
3. Agwata, J. F. A Review of Some Indices used for Drought Studies. Civil and Environmental Research. 2014- 6(2), 14–21.
4. Akshaya Prabha A. V., Pandiyarajan G. K., Ravikumar G. Meteorological and Hydrological Drought Assessment – A Review. International Journal of Scientific & Engineering Research Volume 8, Issue 10, October-2017.97 ISSN 2229-5518
5. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith, 1998: Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, 300 pp.
6. Bachmair S., Stahl K., Collins K., Hannaford J., Acreman M., Svoboda M., Overton I. C. (2016). Drought indicators revisited: the need for a wider consideration of environment and society. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 3(4), 516–536. <https://doi.org/10.1002/wat2.1154>
7. Doan Quang Tri, Tran Tho Dat, Dinh Duc Truong. Application of Meteorological and Hydrological Drought Indices to Establish Drought Classification Maps of the Ba River Basin in Vietnam. Hydrology 2019, 6, 49; doi:10.3390/hydrology6020049.
8. Gibbs W. J. and Maher J. V., 1967. Rainfall. deciles as drought indicators, Bureau of Meteorology Bulletin No. 4, Commonwealth of Australia, Melbourne, Australia.
9. Handbook of Drought Indicators and Indices WMO-No1173.-2016.
10. Hayes M. J., 2003. Drought indices, national Drought Mitigation Center, University of Nebraska Lincoln <http://www.drought.unl.edu/whatis/indices.htm#spi>
11. Indiana Department of Natural Resources. (2015). Review of available drought indices. Review of Available Drought Indices, (Cmi). Retrieved from http://www.in.gov/dnr/files/ws-Final_droughtindices.pdf
12. Ionita M., Tallaksen L., Kingston D., Stagge J., Laaha G., Van Lanen H., Scholz P., Chelcea S., Haslinger K. The European 2015 drought from a climatological perspective. Hydrol. Earth Syst. Sci., 21, 1397–1419, 2017 www.hydrol-earth-syst-sci.net/21/1397/2017/ doi:10.5194/hess-21-1397-2017
13. IPCC. Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. In Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment, Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., Hanson, C.E., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2007; Available online: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg2>
14. Keyantash, J. and Dracup, J.A. (2002) The Quantification of Drought: An Evaluation of Drought Indices. Bulletin of the American Meteorological Society, 83, 1167
15. Kogan F. N., 2000. Contribution of remote sensing to drought early warning. Proceedings of an expert group meeting held on Warning Systems for Drought Preparedness and Drought Management. Lisbon, Portugal, 5-7 September.
16. McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist, 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, California, 17–22 January 1993. Boston, American Meteorological Society, 179–184.
17. Niemeayer, S. New drought indices, options méditerranéennes. Sér. A: Sémin. Méditerr. 2008, 80, 267–274. Available online: <http://om.ciheam.org/om/pdf/a80/00800451.pdf> (accessed on 6 June 2019).
18. Pedey, D.A. On indicators of droughts and wet conditions (in Russian). Proc. USSR Hydrometeorol. Centre Russian Meteorol. Hydrol. 1975, 156, 19–39.
19. Saeid Eslamian, Kaveh Ostad-Ali-Askari, Vijay P. Singh, Nicolas R. Dalezios, Mohsen Ghane, Yohannes Yihdego, Mohammed Matouq. A Review of Drought Indices. International Journal of Constructive Research in Civil Engineering (IJCRCE) Volume 3, Issue 4, 2017, PP 48-66 ISSN 2454-8693 (Online) DOI: <http://dx.doi.org/10.20431/2454-8693.0304005> www.arcjournals.org
20. Stadler, S.J. Aridity indexes. In Encyclopedia of World Climatology; Oliver, J.E., Ed.; Springer: Heidelberg, Germany, 2005; pp. 89–94.
21. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). Map of the World Distribution of Arid Regions: Map at Scale 1:25,000,000 with Explanatory Note; MAB Technical Notes 7; UNESCO: Paris, France, 1979.
22. Vicente-Serrano, S.M., S. Begueria and J.I. Lopez-Moreno, 2010: A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. Journal of Climate, 23:1696–1718.
23. Zargar, A., Sadig, R., Naser, B., & Khan, F. I. (2011). A review of drought indices. Environmental Reviews, 19(1), 333–349. <https://doi.org/10.1139/a111-013>

Надійшла до редколегії 12.12.19

K. Kaverina, MSc,
I. Kostyrko, PhD Student,
R. Oliynyk, PhD in Physics and Mathematics, Associate professor
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

INDEXING OF METEOROLOGICAL DROUGHT

Drought is a serious extreme climatic event that negatively affects the physical environment and water systems causing disruptions in the hydrological cycle of the region. This is a stochastic natural hazard caused by persistent rainfall scarcity. The life cycle of the drought begins with a meteorological phenomenon, and further influence is realized throughout the hydrological cycle. Adequate measures are needed to respond and mitigate the various effects of drought. Developing and implementing drought mitigation and response strategies requires understanding the various indicators used to study drought. Drought characteristics are an important condition that allows both retrospective analysis and forward planning – risk assessment. Thus, it is necessary to objectively identify the events of drought by time, duration, scale and severity of manifestation. This can be implemented with integrated indicators that involve the main characteristics of the drought. More than 150 drought indices have now been proposed, some of which are perceived as operational information used to characterize drought through maps at regional and national levels. By quantifying the level of severity and announcing the onset and end of drought, drought indices are now assisting in a variety of operations, including early warning, drought monitoring and contingency planning. Despite their diversity and continuous development, it is important to provide a comprehensive overview of the available weather indicators, which highlights their differences and studies their trends and which can be used in a special given manner regional climate.

Keywords: drought, drought characteristics, index, meteorological drought.

К. Каверина, магистр,
И. Костырко, асп.,
Р. Олейник, канд. физ.-мат. наук, доц.
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

ИНДЕКСАЦИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАСУХИ

Засуха – это серьезное экстремальное климатическое событие, которое негативно влияет на физическую среду и системы водных ресурсов, вызывая нарушения в гидрологическом цикле данного региона. Это стохастическая естественная опасность, вызванная постоянным дефицитом осадков. Жизненный цикл засухи начинается с метеорологического явления, а дальнейшее влияние реализуется во всем гидрологическом цикле. Необходимы адекватные меры для реагирования и смягчения различных последствий, вызванных засухой. Разработка и реализация стратегий смягчения засухи и реагирования на нее требует понимания различных показателей, используемых для исследования засухи. Характеристики засухи являются важным условием, которое позволяет осуществлять как ретроспективный анализ, так и перспективное планирование – оценку риска. Таким образом, нужно средство объективной идентификации событий засухи по времени, продолжительностью возникновения, масштабу и строгости проявления. Это возможно реализовать с помощью интегральных показателей, в которые вовлечены основные характеристики засухи. Сейчас предложено уже более 150 индексов засухи, некоторые из них воспринимаются как оперативная информация, которая используется для характеристики засухи с помощью карт на региональном и национальном уровнях. Путем количественного определения уровня строгости и объявления начала и конца засухи индексы засухи в настоящее время помогают в различных операциях, включая раннее предупреждение, мониторинг засухи и планирования чрезвычайных ситуаций. Несмотря на их разнообразие и постоянное развитие, важно обеспечить всесторонний обзор имеющихся показателей метеорологической засухи, который подчеркивает их разницу и изучает тенденции их развития, и которые могут быть использованы с учетом особенностей регионального климата.

Ключевые слова: засуха, характеристики засухи, индекс, метеорологическая засуха.