

УДК 551.4:631.6

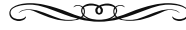
Юрій Кобченко, к. геогр. н., доцент

Олег Кобченко, магістр физ.-мат. н., менеджер (США)

Вячеслав Резуненко, к. физ.-мат. н., доцент

e-mail: yuthed@yahoo.com

Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина



## ПОВТОРЯЕМОСТЬ ЗАСУШЛИВЫХ ТИПОВ ПОГОДЫ НА ТЕРРИТОРИИ ХАРЬКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Рассмотрены вопросы распределения засушливых типов погоды. Проанализированы статистические показатели гидрометеорологических условий в Харьковской области за 1975-2014 гг. Было показано, что наиболее продолжительные засушливые типы погодного комплекса наблюдаются каждые три года, катастрофические – 1 раз в 10 лет. Методами математической статистики, в частности кластерного анализа, показано временное распределение засушливых типов погодного комплекса и размещение их по иерархическим уровням. Метод анализа пространственно-временной структуры развития засушливых явлений позволяет унифицировать гидрометеорологические характеристики рассматриваемых лет и могут быть использованы для решения определённых задач в различных отраслях экономики и в учебных целях.

**Ключевые слова:** погода, климат, гидрометеорологические характеристики, методы математической статистики, кластерный анализ.

Юрій Кобченко, Олег Кобченко, Вячеслав Резуненко

### ПОВТОРНІСТЬ ПОСУШЛИВИХ ТИПІВ ПОГОДИ НА ТЕРИТОРІЇ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Розглянуто питання розподілу посушливих типів погоди. Проаналізовано статистичні показники гідрометеорологічних умов у Харківській області за 1975-2014 рр. Було показано, що найбільш тривалі посушливі типи погодного комплексу спостерігаються кожні три роки, катастрофічні – 1 раз на 10 років. Методами математичної статистики, зокрема кластерного аналізу, показано часовий розподіл посушливих типів погодного комплексу та розміщення їх за ієрархічними рівнями. Метод аналізу просторово-часової структури розвитку посушливих явищ дозволяє уніфікувати гідрометеорологічні характеристики розглянутих років і можуть бути використані для вирішення певних завдань у різних галузях економіки та в навчальних цілях.

**Ключові слова:** погода, клімат, гідрометеорологічні характеристики, методи математичної статистики, кластерний аналіз.

Yuri Kobchenko, Oleg Kobchenko, Vyacheslav Rezunenko

### REPETITION THE DROUGHT TYPES OF WEATHER IN KHARKIV REGION

The state of the atmosphere with a long period without rain, associated with high temperatures, low humidity, high winds is a characteristic feature of the temperate climate, which creates unfavourable conditions for various spheres of human activity.

Atmospheric and soil drought, hot dry winds, dust storms cause damage to agriculture, energy, transport and other sectors of the economy, as well as population.

The drought phenomenon analysis of the space-time structure in Kharkiv region and definition of dry type distribution of weather complex are examined. Having analyzed the statistical data of hydro-meteorological conditions in Kharkiv region in 1975-2014 years, it has been shown that the longest of the drought types of weather complex are observed every three years, catastrophic types are observed every 10 years.

The temporal distribution of the drought weather complex types and placement of hierarchical levels has been studied with methods of mathematical statistics and, in particular, cluster analysis. Using cluster analysis, the objects were placed on hierarchical levels with three groups of clusters, separated in groups of years, which correspond to most types of dry weather complex. Analysis of aridity categories distribution in Kharkiv region has showed that the average frequency of weak drought phenomenon occurrence is 40-45%, middle 30%, intense 15%, very intense 10%. The analysis method of the arid phenomena space-time structure unifies meteorological characteristics of these years and can be used to perform specific tasks in various industries.

**Keywords:** weather, climate, weather complex, hydrometeorological conditions, physical-statistical model, cluster analysis, drought phenomenon.

**Вступление.** Характерной особенностью умеренного климата является состояние атмосферы с длительным бездождевым периодом, который сопровождается повышенной инсоляцией, высокой температурой и низкой влажностью воздуха. Этот сложный комплекс атмосферных процессов приводит к формированию засушливо-суховеяных явлений (ЗСЯ), которые наносят значительный ущерб различным отраслям экономики и населению.

Для изучения природы этих атмосферных процессов, что составляет актуальность данной про-

блемы, разработки вероятностных методов их прогнозирования и эффективных способов предупреждения экономических убытков необходимо дальнейшее всестороннее их исследование с использованием экспериментальных, в том числе дистанционных, наблюдений и современных методов статистического анализа.

Изучению методов математической статистики уделяется значительное внимание в учебном процессе – в курсах «Метеорология и климатология» и «Климат Украины».

**Исходные предпосылки.** Впервые вопрос о засушливых явлениях ставится основоположником климатологии А.И. Воейковым (1884) в работе «Климаты земного шара и в особенности России». Позже их изучением занимались В.В. Докучаев (1899), П.И. Броунов (1910), В.Г. Ротмистров (1926), П.И. Колосков (1947), Т.Г. Селянинов (1957), Р.Э. Давид (1963), Н.М. Волеваха и В.И. Ромушкевич (1972), А.О. Бабич и А.А. Бабич (2004) и др.

Учёные-климатологи внесли большой вклад в изучение этих явлений. Они изучались с разных точек зрения: А.А. Каминский (1934), Е.Е. Федоров и П.А. Буцкий (1935), Н.Ф. Самофалов (1953), С.С. Савин (1963) засушливые явления определяют по критическим значениям метеоэлементов; М.С. Кулик (1953), И.В. Бова (1965), С.А. Вериги и Л.А. Разумова (1975) полагают, что важными показателями засушливости являются запасы продуктивной влаги в слое почвы; А.М. Алпатьев (1956), Т.Г. Селянинов (1957), Е.А. Цубербиллер (1959), А.А. Скворцов (1963), И.Е. Бучинский (1976) предложили эмпирические зависимости; биофизический показатель засушливости разработан Б.Л. Дзерздеевским (1957), А.И. Будаговским (1963), А.Р. Константиновым (1966), М.И. Бudyко (1971); А.В. Процеров (1949), М.М. Самбикин (1951), Р.Э. Давид (1963), В.П. Дмитренко (1999) рассматривают засушливые явления с агрономической точки зрения.

В 1948 г. изучение этих явлений начал профессор Георгий Петрович Дубинский на кафедре физической географии и картографии Харьковского университета, а в 1961 г. при кафедре им была создана научно-исследовательская лаборатория, которая охватила исследованиями почти все крупные регионы орошения Украины, где изучались засушливые и суховейные явления и проводилась разработка практических мероприятий, нацеленных на активное влияние на эти стихийные природные явления [5].

**Формулирование целей статьи и постановка задачи.** Основной целью работы является анализ пространственно-временной структуры развития ЗСЯ в Харьковской области и разработка рекомендаций для решения практических задач по климатологии при помощи методов математической статистики в учебном процессе. Для этого определяются следующие задачи: изучить исходные предпосылки исследования этой проблемы; проанализировать данные гидрометеорологической службы и определить пространственно-временную структуру ЗСЯ, развития засушливых явлений на территории Харьковской области; разработать практические задания по курсу «Метеорология и климатология».

**Изложение основного материала.** Засушливые явления обусловлены сложным комплексом геофизических и биофизических процессов, возникающих на некоторой ограниченной территории в течение достаточно длительного времени. К засушливым явлениям относят: длительное бездожде,

высокую температуру и низкую влажность воздуха, суховеи, атмосферную и почвенную засуху [2].

При исчерпании возможностей приспособления растений наступает обезвоживание организмов, их увядание, засыхание и гибель. Если биофизические механизмы адаптации нивелируют напряжения геофизических факторов, то организмы преодолевают засушливые явления, но их производительность существенно уменьшается. Каждое из засушливых явлений имеет собственные признаки вредоносности. По их сочетанию различают критические пределы, которые являются наиболее опасными.

Бездождевой период - это интервал времени, в котором в течение десяти и более дней не наблюдаются осадки или их суточное количество не превышает 1 мм. Длительное бездожде предвещает засуху. В эти периоды отмечаются частые суховеи. Бездождевой период продолжительностью более 10 дней считается засушливым.

Суховей – это состояние атмосферы, при котором прослеживается перенесение сухого тёплого воздуха (относительная влажность 30 % и ниже, а температура 25°C и выше) со скоростью 3-5 м/с. Сочетание сухого ветра с высокими температурами и низкой относительной влажностью воздуха в бездождевой период в течение нескольких суток приводит к атмосферной засухе.

Атмосферной засухой в местности с умеренным климатом является состояние атмосферы с длительным периодом бездождия, существенным уменьшением осадков, сопровождающихся повышенной инсоляцией и высокой температурой воздуха. Атмосферная засуха определённой продолжительности обуславливает почвенную засуху.

Почвенная засуха может наблюдаться на полях, которые не адаптированы к засушливому климату как без растений, так и с растительным покровом. В первом случае критерии почвенной засухи определяют по агрогидрологическим свойствам почвы (наименьшая влагоёмкость). По имеющимся агрофитоценозам почвенная засуха является сложной системой, учитывающей динамику влагопотребления растений и влажности почвы. В этом случае характерной особенностью почвенной засухи является несоответствие между влагопотреблением растений и условиями их влагообеспеченности. Вследствие недостаточной влажности почвы, избыточной инсоляции и притока тепла происходит существенное снижение транспирации и продуктивности по сравнению с благоприятными условиями. Сочетание атмосферной и почвенной засух определяют как общую засуху.

Определённым исключением из упомянутых типов является физиологическая засуха (физиологическая сухость) как явление обезвоживания тканей растения при достаточном количестве влаги в почве. Она обусловлена низкой температурой корнеобитаемого слоя почвы, высокой температурой и низкой влажностью воздуха. В этих условиях

скорость всасывания влаги корневой системой растений существенно отстает от скорости транспирации и вызывает постепенное снижение тургора клеток, задержание процессов роста и развития растений, уменьшение их производительности и урожайности.

Таким образом, ведущими составляющими засушливых явлений являются длительное бездождие, суховеи, атмосферная и почвенная засуха. По определению Всемирной метеорологической организации, наряду с ними выделены отраслевые классификации засухи: сельскохозяйственные, гидрологические, энергетические и др. [1].

Для изучения засушливых явлений в Харьковской области использованы данные сетевых метеостанций (Богодухов, Лозовая, Купянск) за 1975-2014 гг. Они отобраны таким образом, что каждый агроклиматический район территории Харьковской области представлен сетевой метеостанцией.

Анализ развития ЗСЯ во времени и по территории сделан методом статистической таксономии. Этот метод относится к разделу математики, который разрабатывает принципы и методы классификации и идентификации предметов, явлений, процессов, которые могут быть описаны конечным набором признаков и состояний.

В работе по данным гидрометеорологической службы выполнен статистический анализ основных параметров распределения засушливых типов погоды в пределах агроклиматических районов Харьковской области за период 1975-2014 гг.

В таблице (табл.1) приводятся данные таких статистических параметров: а) максимальное число засушливых дней в году, б) минимальное их число, в) размах (разность максимального и минимального числа дней в году), г) математическое ожидание (среднее), д) дисперсия. В столбце е) отдельно приведены сгруппированные данные: число интервалов и частоты по каждому интервалу. Данные е) показывают необходимость дополнительного анализа для выяснения типа дифференциальной и интегральной функций распределения, а закономерности развития статистических параметров подчиняются приближённо закону Пуассона.

В практике гидрометеорологических исследований постоянно имеют дело с необходимостью систематизации атмосферных явлений и процессов, а при решении прогностических задач необходимо группировать исследуемые атмосферные объек-

ты, однородность элементов которых проявляется в пределах выделенных групп. При анализе погодно-климатических условий в разрезе конкретного года возникает вопрос отнесения его к одной из априорно известных однородных групп с целью разработки рекомендаций, к конкретным практическим действиям. Сравнение комплексов метеорологических показателей удобно выполнять с помощью кластерного анализа [5, 7].

В исследовании применена методика кластерного анализа для обработки метеорологической информации, полученной из источников гидрометеорологической службы, начиная с 1975 г. Массив метеорологических данных, полученный за 40 лет, определяет начало нового периода климатологических изменений и, в частности, потепление климата, а продолжительность метеоряда даёт возможность сделать обоснованные климатологические выводы. Для этого использованы данные повторяемости засушливых типов погодного комплекса с 1975 по 2014 г.

Используя графическую форму кластерного анализа, которая даёт возможность наглядного изображения взаимных связей между элементами исследуемых объектов, исследуемые объекты мы разместили по иерархическим уровням таким образом, чтобы подчеркнуть их взаимное сходство на основе исследованных свойств. Полученный дендрограф, на котором в соответствующем масштабе представлены расстояния между элементами, позволил передать графическое изображение связей между элементами. На дендрографе (рис.) чётко проявляются три группы кластеров: группы элементов центральной части графа, правой нижней и левой верхней части графа. Анализ этих кластеров показал, что они могут быть отнесены к разным типам с точки зрения гидрометеорологических характеристик рассматриваемых лет и могут быть использованы для выполнения специальных заданий в различных отраслях экономики.

Общая тенденция размещения элементов дендрита складывается таким образом, что распределение засушливых типов погоды (как элемента кластеризации) происходит в направлении справа вверх налево от наиболее часто повторяющихся — к средним и редко повторяющимся засушливым типам погодного комплекса в следующих частях графа.

В левой верхней группе кластеров видно, что сгруппированы годы, которым соответствуют наи-

Таблица 1

**Основные статистические параметры распределения засушливых типов фитопогодных комплексов в пределах территории Харьковской области за период 1975-2014 гг.**

Метео-станции	а) max	б) min	в) размах	г) матем. среднее	д) дисперсия	е) интервалы/ частоты
Богодухов	55	4	51	23,3750	12,0451	6/8,11,9,6,5,1
Лозовая	69	7	62	33,2500	15,2147	6/8,17,10,5,4,2
Купянск	79	12	67	37,6750	16,9431	6/9,8,11,6,4,2

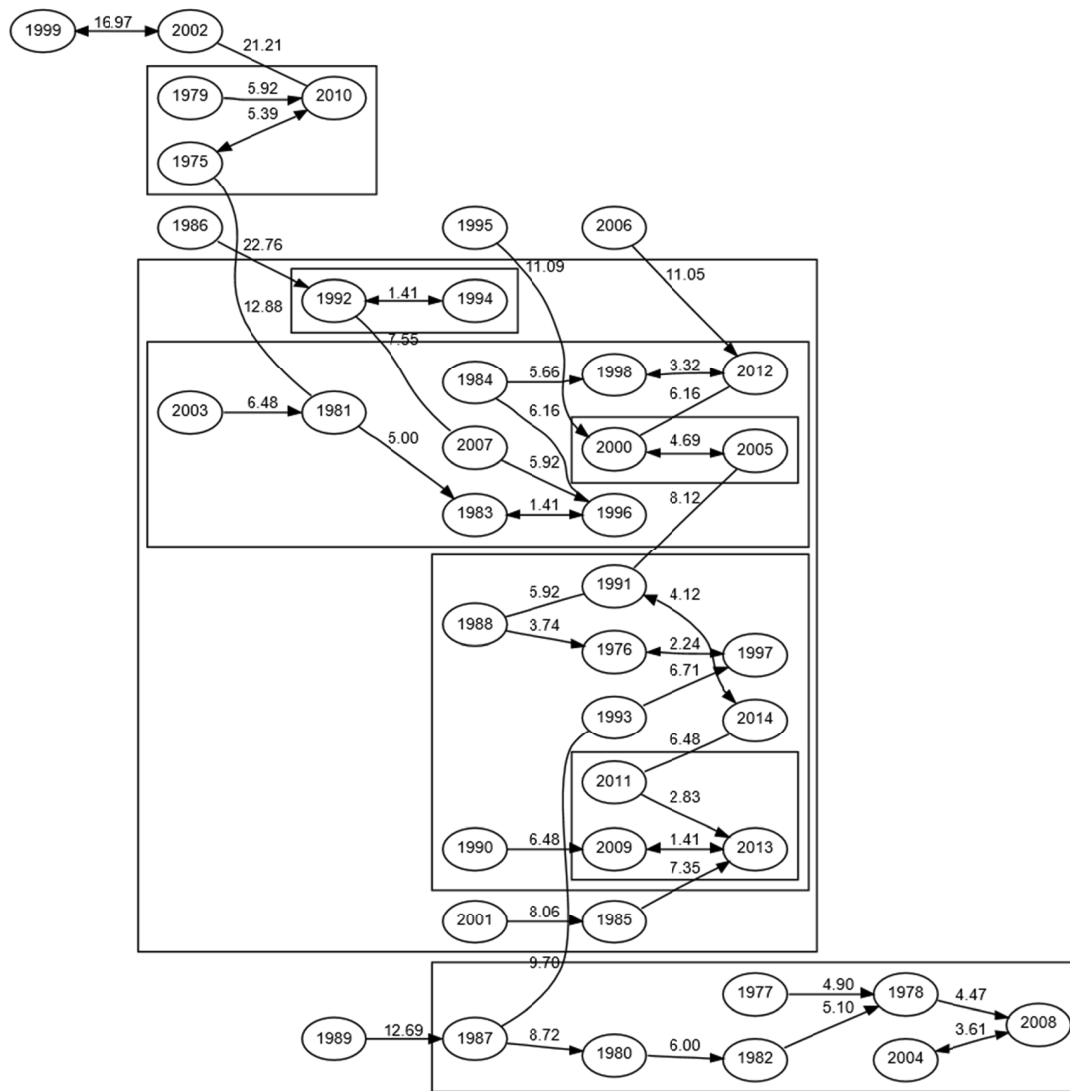


Рис. Дендрограф связи кластеризованных элементов

более засушливые типы погодного комплекса. Здесь чётко выделяется прямоугольный кластер с элементами (1975, 1979 и 2010) в центре, имеющими наименьшее расстояние 5,92 и 5,39 соответственно. К этому кластеру примыкает группа элементов (1999, 2002 и 1986, 1995, 2006), которые относятся к засушливым годам. И хотя расстояние между ними гораздо больше среднего и они не составляют единый кластер, но пространственно они граничат и все относятся к экстремальным значениям.

В средней части графа сгруппированы годы, которым присущи оптимальные погодные условия в течение вегетационного периода. Этот кластер большой по объёму и может быть разделён на подгруппы, если использовать меньшее значение сигмы как разграничительного признака. Благодаря этому может быть выделена центральная его часть с элементами (1983, 1996, 2000, 2005), где расстояния лежат в пределах 1,41-4,69, и две группы: верхняя с элементами (1992, 1994) и нижняя с элементами (1988, 1991, 1993, 1997, 1914) и вложенная в неё с элементами (2009, 2011, 2013), расстояния между которыми лежат в пределах 1,41-2,83.

В правой нижней части графа сгруппированы годы с наименее засушливыми типами погодного комплекса. Здесь чётко выделен в прямоугольнике кластер с элементами (1977, 1980, 1982, 2004, 2008), имеющими дистанцию в пределах 3,61-6,00. Кластерная процедура связана с вычленением функции расстояния и меры сходства между всеми парами объектов и выделением на каждом классификационном этапе той пары элементов, для которой достигается минимальное значение.

Кластеризация достигается путём разграничения изначально единой группы, состоящей из k объектов. Однородной называют такую совокупность, элементы которой формируются под влиянием общих основных причин, а их законы распределения имеют соответствующую структуру.

Классификация ЗСЯ по территории сделана при помощи языка программирования «J» [6], в котором был реализован алгоритм построения дендрита. Этот метод дал возможность ранжировать ЗСЯ по комплексу показателей и расчленить их на таксоны по критериям, определённым целью исследования. Анализ пространственно-временной структуры развития

ЗСЯ в последние 40 лет позволил выделить 5 таксонов. Они дают представление о 5 типах территориального распределения ЗСЯ по категориям их интенсивности.

В основу классификации кладутся два признака – наличие каждой из категорий засушливости и величина их повторяемости. Если ЗСЯ не наблюдается, тип распределения обозначен «1», при наличии только слабых ЗСЯ – «2», средних – «3», интенсивных – «4», очень интенсивных – «5».

В процессе анализа распределения категорий засушливости по территории Харьковской области было установлено, что в среднем повторяемость слабых ЗСЯ составляет 40-45%, средних – около 30%, интенсивных – 15%, очень интенсивных – 10%. В перерасчёте на количество дней (относительно 30 дней) эти величины составляют 12, 10, 5, 3 дня относительно расчётных процентов.

Таблица 2

**Типы территориального распределения ЗСЯ в пределах агроклиматических районов Харьковской области за период 1975-2014 гг.**

Метеостанции	Таксоны		
	1,2	3	4,5
Богодухов	43	50	7
Лозовая	14	50	36
Купянск	14	29	57

Анализ показывает, что в засушливые периоды только северо-западная станция находится в сравнительно нормальных условиях. Станции, которые расположены в степной зоне, находятся в условиях повышенной и экстремальной засушливости. Распределение категорий интенсивности в многолетнем плане рассматривается на примере станций, которые имеют наибольший ряд наблюдений. Особое внимание уделялось наиболее засушливым годам. Анализ атмосферных осадков за эти периоды также показал сниженное их количество.

Полученные таким образом комплексные характеристики засушливости могут быть использованы как для описания территории с точки зрения интенсивности засушливости, так и для планирования мелиоративных мероприятий. Практическим аспектом этого вопроса есть определение влияния ЗСЯ на урожай сельскохозяйственных культур. Для этого был применён метод ранжирования элементов (районы и годы) по комплексу характеристик, в данном случае – по урожаю. Это позволило сгруппировать распределение урожая по территории и годам, а также картографировать пространственную структуру распределения урожайности по области. Такой комплексный подход даёт возможность единого пространственно-временного анализа и синтеза всей имеющейся информации по качественному состоянию плодородия ландшафта.

**Выводы.** На основе проведённого исследования можно сделать следующие выводы: выбранный массив метеорологических данных с 1975 г., определивший начало нового периода климатологических изменений, обеспечил достаточную продолжительность метеоряда, что дало возможность сделать обоснованные климатологические выводы; методы математической статистики как основа для проведения комплексного изучения природных объектов, в том числе и атмосферных процессов, позволили всесторонне охарактеризовать особенности пространственно-временной структуры развития засушливых явлений на территории Харьковской области; применение вероятностно-статистического аппарата позволило разработать комплекс практических заданий по спецкурсу «Статистический анализ гидрометеорологической информации».

**Рецензент – доктор биологических наук, профессор П.А. Калиман**

**Список использованных источников:**

1. Бабич А.О. Засуха, суховій і пилова буря в Україні в період глобальних змін клімату А.О. Бабич, А.А. Бабич. – Вінниця: Діло, 2014. – Т. 2. – 535 с.
2. Бучинский И.Е. Засухи и суховеи / И.Е. Бучинский. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 214 с.
3. Дубинский Г.П. Засушливые явления, их изучение и борьба с ними / Г.П. Дубинский // Труды географ. ф-та Харьков. ун-та. – 1957. – Т. 3. – С. 23–47.
4. Кобченко Ю.Ф. Статистичний аналіз метеорологічної інформації / Ю.Ф. Кобченко. – Харків: ХДУ, 2008. – 36 с.
5. Мандель И.Д. Кластерный анализ / И.Д. Мандель. – М.: Финансы и статистика, 2008. – 278 с.
6. James G. Statistical learning / G. James. – New York: Mathematics, 2014. – 426 p.
7. Moore D. Essential Statistics / D. Moore. – New York: Mathematics, 2013. – 495 p.

**References:**

1. Baby`ch, A.O., Baby`ch, A.A. (2014). Zasuha, suxovij i py`lova burja v Ukraini v period global`ny`x zmin klimatu [Drought, hot dry wind and dust storm in Ukraine during the period of global climate change]. Vinny`cya: Dilo, 536.
2. Buchinskij, I.E. (1976). Zasuhi i suhovei [Droughts and hot dry winds]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 214.
3. Dubinskij, G.P. (1957) Zasuшлиvye javlenija, ih izuchenie i bor`ba s nimi [Aridity, their study and the fight against them]. Works of the geographer. Faculty of Kharkiv University, 3, 23-47.
4. Kobchenko, Yu.F. (2008). Staty`sty`chny`j analiz meteorologichnoyi informaciyi [Statistical analysis of meteorological information]. Xarkiv: XDU, 36.
5. Mandel', I.D. (276). Klasternyj analiz [Cluster analysis]. Moskva: Finansy i statistika, 278.
6. James, G.(2014) Statistical learning. New York: Mathematics, 426.
7. Moore, D.(2013) Essential statistics. New York: Mathematics, 495.