



И. Г. Семёнова

**ОЦЕНКА ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЙ НА УКРАИНЕ  
В КОНЦЕ XX – НАЧАЛЕ XXI СТОЛЕТИЯ**

Выполнена оценка засушливых условий в вегетационный период 1995–2012 гг. на Украине с помощью полей гидротермического коэффициента. С использованием метода аналогов определены наиболее вероятные сезонные и месячные поля ГТК. Наименьшие значения ГТК наблюдаются в степных областях и Крыму. Повторяемость месяцев с засухой в южных областях достигает 60–70%. Наиболее интенсивные сезонные засухи наблюдались в 2007 и 2009 гг. с площадью распространения более 35% территории страны.

*The drought conditions in the 1995–2012 vegetation period in Ukraine are estimated using the fields of Selyaninov hydrothermal coefficient (SHC). The analog method helps identify the most probable seasonal and monthly SHC fields. The lowest SHC values are observed in the steppe regions and Crimea. Frequency of drought months reaches 60–70% in the southern regions. The most severe seasonal droughts occurred in 2007 and 2009 with a spread area of over 35% of the country's territory.*

**Ключевые слова:** засуха, гидротермический коэффициент Селянинова, метод аналогов.

**Key words:** drought, Selyaninov hydrothermal coefficient, method of analogs.

**Введение**

Украина — один из основных сельскохозяйственных регионов Восточной Европы благодаря благоприятному сочетанию умеренного климата и плодородных почв. Однако климат периодически оказывается под влиянием крупномасштабных циркуляционных систем, приводящих к возникновению длительных периодов с дефицитом осадков, следствие которых — формирование в теплый период года засушливых явлений — засух и суховеев. Многочисленные исследования общей циркуляции атмосферы и глобального режима температуры и осадков, проводимые в связи с изменением климатических условий, в последние несколько десятилетий дают неоднозначные оценки тенденции наблюдающихся процессов в разных регионах. Для территории Европы в целом конец X — начало XI в. отмечены некоторым увеличением повторяемости антициклонических систем как блокирующих, так и подвижных [4; 7; 12; 14], что потенциально должно увеличивать вероятность засух. Но поскольку блокирующие ситуации приводят к развитию интенсивных меридиональных процессов, сопровождающихся усилением осадков в одних регионах и их дефицитом в других, важным фактором оказывается положение центра блокирования, в большинстве случаев находящегося далеко за пределами Украины [11; 12]. Периферийные же про-



цессы, частота которых увеличилась, приводят к значительной неустойчивости погодных условий с увеличением повторяемости сильных, но кратковременных осадков, что особенно проявляется над Украиной в летний период [5; 7]. В измененных макроциркуляционных атмосферных условиях пространственно-временное распределение засушливых явлений существенно усложнилось, что приводит к снижению предсказуемости засух в общем случае. Примеры таких недавних «неожиданных» и весьма продолжительных процессов – летняя засуха 2010 г. на европейской территории России, а также сильная осенняя засуха 2011 г. на Украине [8; 10; 13]. Если в первом случае засуха была обусловлена блокирующим процессом, то во втором основной причиной стала высокая повторяемость подвижных антициклонов различных траекторий на протяжении трех месяцев подряд, что позволяет говорить о развитии динамической засухи [10].

21

На Украине в агрометеорологических задачах основной количественный показатель засушливости – гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК) [3; 4; 9], который завоевал популярность благодаря легкости вычисления и удовлетворительному соотношению влияния фактических условий увлажнения и температурного режима на формирование урожая сельскохозяйственных культур. В научных работах этот параметр обычно вычисляется локально по данным о температуре и осадках по сети метеорологических станций и затем обобщается по территории. Такой подход имеет свои преимущества, основным из которых выступает использование первичных данных наблюдений. Но нерегулярность сети станций и большая пространственно-временная дискретность поля осадков вносят определенные погрешности в обобщение информации о распределении ГТК по площади исследуемого района. К тому же засуха, которая не относится к локальным и влияет на хозяйственную деятельность крупных географических регионов, должна рассматриваться как общий феномен, формирующийся под воздействием региональных особенностей полей метеорологических величин. В таком случае целесообразен расчет гидротермического коэффициента с использованием полей реанализа метеорологических величин высокого разрешения.

### Материалы и методы исследования

В работе применены данные реанализа ERA-interim с шагом регулярной сетки 0.7 градусов: ежедневные поля температуры воздуха на уровне 2 м и интенсивности осадков. Расчетная область ограничена координатами  $\varphi = 20,39 - 45,00^\circ$  с.ш.,  $\lambda = 43,16 - 54,39^\circ$  в.д. Исходные данные получены и предварительно обработаны с помощью инструментов исследовательского портала Climate Explorer (<http://climexp.knmi.nl>). ERA-Interim – последняя разработка глобального атмосферного реанализа от Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF), которая покрывает период с 1 января в 1979 г. по текущий день.



Гидротермический коэффициент вычислялся по методике Г. Т. Селянинова за месяцы вегетационного периода:

$$\text{ГТК} = \frac{\sum P}{\sum t : 10}, \quad (1)$$

где  $\sum P$  – сумма осадков за месяц, в мм;  $\sum t$  – сумма температур в градусах Цельсия за период со среднесуточными температурами выше 10 °С (в пределах того же месяца).

Засушливым считается период, на протяжении которого ГТК < 1,0; периоду с засухой соответствуют значения ГТК < 0,5.

Для анализа взяты поля температуры и осадков за апрель-октябрь 1995–2012 гг. При этом месячные суммы температур были сразу вычислены с помощью Climate Explorer для мая-сентября, так как в эти месяцы среднесуточные температуры на территории Украины, за исключением горных районов и отдельных суток, обычно превышают 10 °С. Месячные значения ГТК для апреля и октября определялись путем осреднения рассчитанных значений для пентад со средней температурой 10 °С и выше.

Для расчета наиболее вероятных полей ГТК среди сезонных и месячных был применен метод оценки полей по их качественным характеристикам с помощью критериев аналогичности. В качестве критерия, который характеризует геометрическую схожесть двух полей по распределению аномалий, взят критерий  $\rho$  Н. А. Багрова [1]:

$$\rho = \frac{n_+ - n_-}{n_+ + n_-}, \quad (2)$$

где  $n_+$  – количество узлов сетки, где знаки аномалий полей совпадают,  $n_-$  – количество узлов сетки, где знаки аномалий полей не совпадают.

Параметр  $\rho$  близок к коэффициенту корреляции и также колеблется в пределах от -1 до 1.

Для оценки близости полей использовался параметр  $\eta$ , который пропорционален квадрату расстояния между двумя полями [6]:

$$\eta = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{i=1}^K (x_{im} - x_{in})^2}, \quad (3)$$

где  $K$  – количество узлов в области расчета;  $x_{im}$  и  $x_{in}$  – значение метеорологической величины в  $i$ -ом узле  $m$ -го и  $n$ -го полей.

Основной критерий в определении аналогичности между полями – параметр  $\rho$ , параметр  $\eta$  использовался как дополнительный. По рассчитанным сезонным и месячным значениям  $\rho$  строились матрицы, анализ которых позволил выделить годы с самым высоким средним значением  $\rho$ , что указывает на наиболее вероятное и информативное поле в исследуемом периоде. Согласно [6], поля являются аналогами и относятся к одному классу, если  $0,3 \leq \rho \leq 1,0$ . Поля с низким значением  $\rho$  (< 0,3) относятся к другому классу и, как правило, составляют группу аномальных и редких процессов.



## Повторяемость и интенсивность засух

Оценка повторяемости и интенсивности засух на территории Украины в течение теплых сезонов 1995–2012 гг. проведена с учетом площади охвата значениями ГТК  $< 0,5$  от площади территории страны. Согласно [2; 3], при площади охвата свыше 30 % и больше засуха считается чрезвычайно обширной или сильной, при площади от 21 до 30 % – весьма обширная (умеренная), от 11 до 20 % – обширная (слабая), менее 11 % – локальная.

На рисунке 1 приведены данные о площадях охвата засухой по отдельным периодам и сезону в целом. Сезонная сильная засуха наблюдалась на территории Украины в 2005, 2007, 2009 и 2011 г. со средней площадью распространения от 31,8 до 37,4 %. Количество лет с умеренной сезонной засухой было вдвое больше: 1996, 1998, 2000, 2001, 2003, 2004, 2006, 2010 и 2012 гг. Общее нарастание интенсивности засух произошло после 2002 г., когда был отмечен своеобразный минимум засушливости с площадью охвата 14,3 %. С 1995 по 2002 г. сильных сезонных засух не случалось, а в следующий период лишь в 2008 г. площадь распространения засухи не превышала 20 %.

23

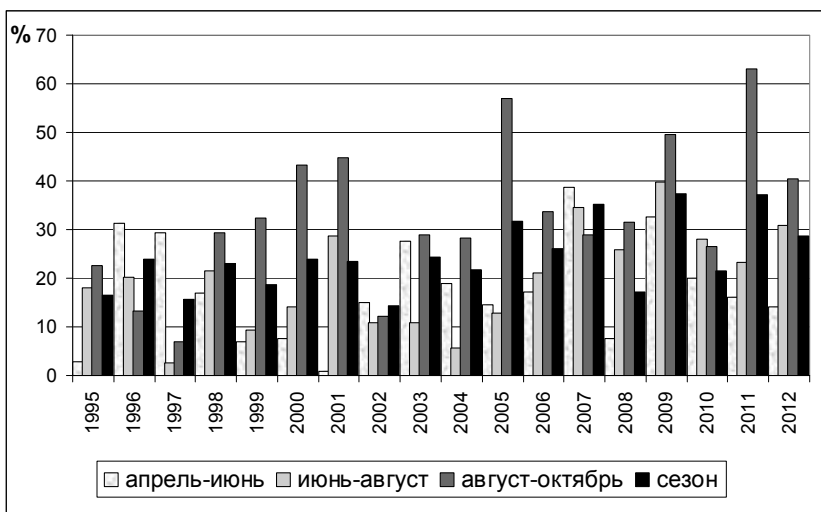


Рис. 1. Средние по периодам площади охвата засухой, %

По отдельным месяцам межгодовое распределение засух более сложное. В апреле среднее значение площади обхвата засухой превышает 30 %, но обычно длительность сухих и теплых периодов незначительна и не превышает 2–4 пентады. Иногда засухи с большой площадью охвата считать сильными можно лишь формально и в случае сохранения засушливых условий в последующем периоде. В мае лишь трижды наблюдались сильная (2003 г.) и умеренная (2005, 2007 гг.) засухи. В июне сильная засуха зафиксирована лишь в 2009 г., умеренные – в 1996 и 2012 гг.



В целом в мае и июне средняя площадь охвата засухами наименьшая в теплом сезоне и не превышает 10 %. Начиная с июля происходит нарастание средних значений площади распространения засух за счет увеличения количества умеренных и сильных засух. Так, в июле наблюдалось пять лет с сильными засухами — 1995, 1996, 2006, 2007 и 2012 гг., и три года с умеренными засухами — 1998, 2001 и 2011 гг. В августе сильные засухи случались уже в семи годах, при этом в 2001, 2008, 2009 и 2010 гг. площадь охвата засухой превысила 50 % территории страны. Такие засухи некоторые исследователи относят к разряду катастрофических [3].

В сентябре сохраняется повышенная повторяемость сильных засух, которые были установлены в восьми годах, пять из которых были с катастрофической засухой (2003, 2005, 2009, 2011 и 2012 гг.), при этом в 2011 г. засуха охватила почти всю территорию страны (93,7 %). В октябре средний показатель площади распространения засух наибольший, однако, как и в апреле, длительность засушливого периода обычно не превышает 3—4 пентады, потому значимыми можно считать те показатели, которые продолжают тенденцию сентября. Такая картина имела место в 1999, 2004, 2005 и 2011 гг. В других случаях происходило снижение значений интенсивности к меньшей градации.

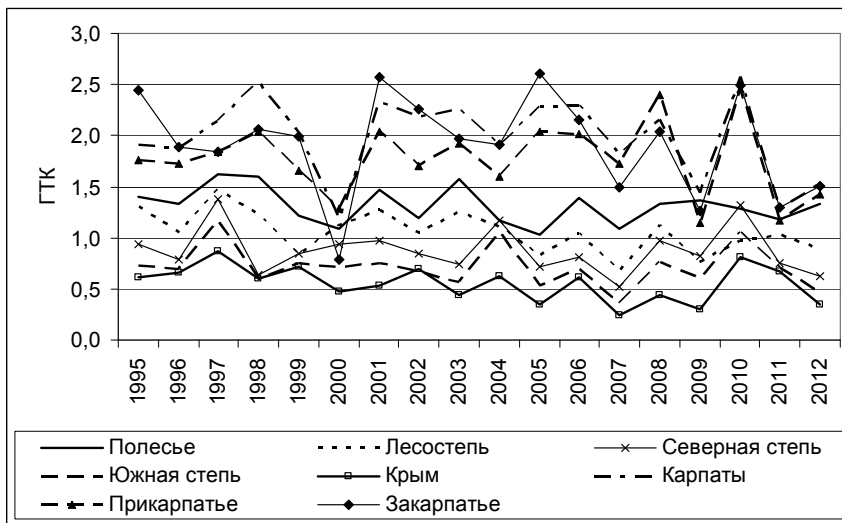
Для агрометеорологических задач выделим засухи внутри вегетационного периода. Весенне-летние (апрель-июнь) сильные засухи были в 1996, 2007 и 2009 гг., умеренные засухи отмечены в 1997 и 2003 гг. Летние (июнь-август) сильные засухи длились в трех годах (2007, 2009 и 2012 гг.), еще в шести годах засухи были умеренными. Летне-осенние (август-октябрь) сильные засухи наблюдалась в девяти годах, а их общая средняя интенсивность была наивысшей в вегетационном периоде. При этом в 2001, 2005, 2006, 2009, 2011 и 2012 гг. летне-осенние засухи были продолжением летних и в целом более интенсивными. Таким образом, в период 1995—2012 гг. для Украины характерными оказались засухи летнего и летне-осеннего периодов, с июля по октябрь. Основной вклад принадлежит августу и сентябрю, которые практически ежегодно характеризуются незначительным количеством осадков и высоким фоном температуры воздуха, что обеспечивает условия для возникновения засух большой интенсивности.

Наименьшие среднесезонные значения ГТК зафиксированы в Крыму и степной зоне и колеблются в пределах 0,56—0,88. Минимальное сезонное значение ГТК отмечено в Крыму в 2007 г. — 0,25 и в целом на п-ове во все годы наблюдались умеренные и сильные засухи. В южной степи ГТК изменялся от 0,36 в 2007 г. до 1,16 в 1997 г., в северной степи экстремумы ГТК 0,52 и 1,38 установлены в те же годы. В лесостепи средний ГТК превышает 1,0, а засушливыми были шесть сезонов: 1999, 2005, 2007, 2009, 2010 и 2012 гг. (рис. 2).

В Полесье средний ГТК повышается до 1,32, и в течение рассмотренного периода эта зона находилась в относительно влажных условиях при колебании параметра от 1,03 (2005 г.) до 1,62 (1997 г.). Карпатский регион



отличается повышенными значениями ГТК в сравнении с другими зонами во всех годах, с меньшими показателями в Прикарпатье и наибольшими в горной части Карпат. Самые низкие значения ГТК здесь обычно наблюдались в годы с обширными засухами по стране. В Закарпатье засушливостью выделяется также 2000 г., когда среднесезонный ГТК составил 0,79. В целом по значениям ГТК на Украине наиболее засушливыми были теплые сезоны 2000, 2007 и 2009 гг., при этом засухи в эти годы носили также весьма обширный характер (см. выше рис. 1).



25

Рис. 2. Временной ход ГТК по агроклиматическим зонам Украины

Анализ внутрисезонных изменений ГТК показал, что самые низкие значения отмечены по всем зонам в августе или сентябре. В степных, лесостепной зонах и Крыму минимум ГТК приходится на август, в других зонах — на сентябрь. Максимальное среднее по Украине значение ГТК зафиксировано в мае, но по зонам положение максимума имеет особенности. Так, в мае максимум ГТК наблюдается в северной (1,17) и южной (0,97) степи, Карпатах (2,59) и Закарпатье (2,41). В Прикарпатье практически неизменное максимальное значение ГТК сохраняется в течение мая-июля и составляет 2,26–2,27. В Полесье максимум ГТК установлен в июле (1,76), в лесостепи — в июне (1,35). В Крыму максимальное значение ГТК 0,86 наблюдается в октябре, что свидетельствует об увеличении количества осадков за счет активизации циклонической деятельности в Средиземноморском бассейне.

### Структура сезонных полей ГТК

Анализ матрицы  $\rho$ , построенной на сравнении осредненных за каждый сезон (апрель-октябрь) 1995–2012 гг. полей гидротермического коэффициента, выявил принадлежность всех полей к одному классу

( $\rho$  колебался от 0,41 до 0,64). Наиболее вероятным оказалось поле ГТК за 2012 г., представленное на рисунке 3.

Рассчитанные сезонные поля ГТК содержат два устойчивых очага аномалий повышенных значений коэффициента, связанных с горными системами. Основной очаг располагается в юго-восточной части, сохраняется в течение всего сезона и связан с Кавказским хребтом. Второй очаг в западной части в пределах территории Украины соответствует Карпатам, но в отличие от Кавказа, обладает существенной изменчивостью в течение рассмотренных сезонов. Характерная черта этого поля – квазиширотная направленность в пределах Украины – значения уменьшаются с северо-запада и севера на юг и юго-восток. Самые низкие показатели ГТК  $< 0,5$  в течение вегетационного периода наблюдаются в южных областях, Крыму и Приазовье, что свидетельствует о практически ежегодном наступлении продолжительных сухих периодов в степных и приморских районах. В центральных и восточных областях страны теплый сезон умеренно засушлив, при  $0,5 < \text{ГТК} < 1,0$ . Районы Прикарпатья и северные области Украины находятся в зоне достаточной увлажненности.

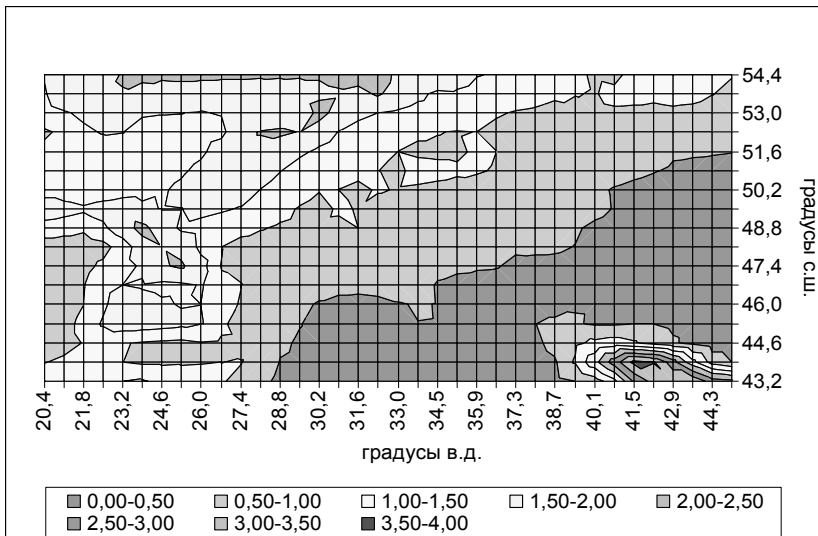


Рис. 3. Наиболее вероятное сезонное поле ГТК (2012 г.)

На соседних с Украиной территориях происходит нарастание интенсивности засушливых условий к востоку, в районах Нижнего Поволжья, а также к западу от Карпат, над Венгерской низменностью. Более увлажненным по сравнению с территорией Украины является сектор на северо-западе, над районами Польши и Беларуси.

Наименее вероятным в рассмотренной выборке оказалось поле ГТК сезона 2000 г. ( $\rho = 0,41$ ;  $\eta = 0,49$ ). Основное отличие – это однородное распределение ГТК по территории Украины со слабо выраженным очагом повышенных значений в районе Карпат (рис. 4).



В этом году в большинстве областей сезон был умеренно засушливым, засуха отмечалась на ограниченной территории Херсонской области и Крыма.

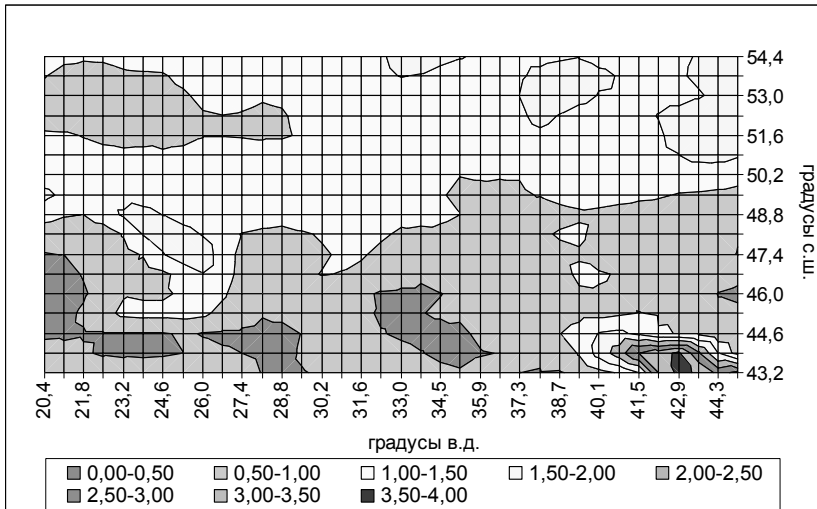


Рис. 4. Наименее вероятное сезонное поле ГТК (2000 г.)

Также в этом поле есть существенные отличия и распределения ГТК на соседних территориях. Наименьшие значения коэффициента охватывают почти всю западную и северо-западную часть расчетной области, что свидетельствует о преобладании необычно засушливых условий для этих районов. В Приволжских районах, наоборот, режим увлажнения в сезоне 2000 г. был высоким, без длительных сухих периодов.

Структура наиболее вероятного сезонного поля сохраняется и в месячных полях ГТК, при этом наиболее однородными являются поля мая-июля, которые в большинстве своем принадлежат к одному классу. Максимальная изменчивость выявлена в полях ГТК за сентябрь – распределение очагов аномалий ГТК и их интенсивность в пределах области расчета существенно изменяются из года в год, от повышенного увлажнения в 1996 г. до повсеместной засухи в 2011 г., что говорит о неустойчивости атмосферных процессов в начале осени.

Пространственно-временной анализ значений ГТК в пределах 0,0–1,5 в узлах сетки позволил определить суммарную повторяемость засушливых условий различной интенсивности в течение вегетационного периода. Согласно распределению повторяемости ГТК  $\leq 1,5$  на большей части территории Украины свыше 80 % месяцев теплого сезона являются относительно сухими. Повторяемость уменьшается на северо-запад и запад, достигая минимума (20–40 %) в Карпатах. При ГТК  $\leq 1,0$  площадь с повторяемостью свыше 80 % значительно сокращается, занимая южные области Украины, для которых в течение почти всего сезона присуще преобладание засушливых условий. Для центральных и восточных областей повторяемость засушливых месяцев со-



ставляет 60–80 %, в северных и западных областях уменьшается до 40 %. Повторяемость месяцев с засухой ( $ГТК \leq 0,5$ ) наибольшая в южных областях – Одесской, Херсонской, Запорожской и в Крыму, где составляет 60–70 % (рис. 5). Граница 50 % повторяемости засух проходит приблизительно вдоль  $47^\circ$  с. ш. На Западе и Севере Украины повторяемость засух значительно уменьшается, не превышая 20–30 %. Наконец, повторяемость экстремальной засухи ( $ГТК \leq 0,3$ ) составляет 20–40 % для тех же южных областей, на большей части повторяемость не превышает 10–20 %, в Карпатском регионе уменьшается до нуля.

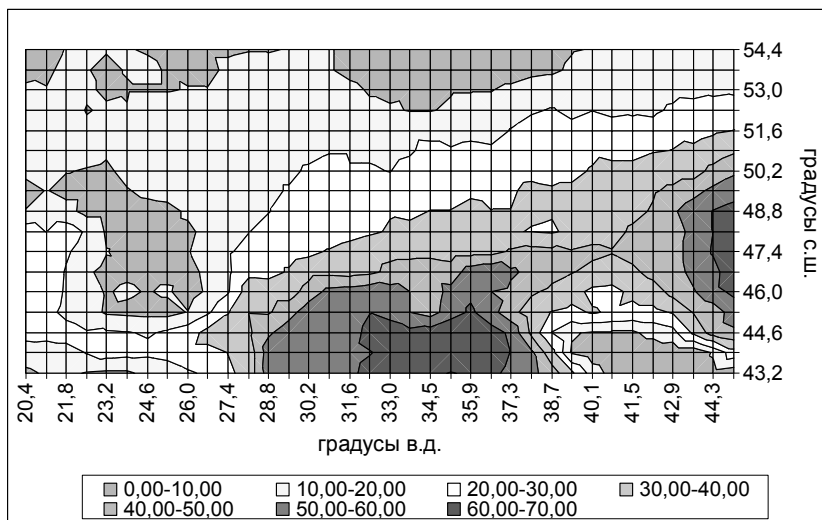


Рис. 5. Повторяемость месяцев с засухой ( $ГТК \leq 0,5$ ), %

### Заключение

Использование сеточных данных для расчета и анализа гидротермического коэффициента дало возможность представить пространственно-временную картину распространения засушливых условий на территории Украины, а также классифицировать полученные сезонные и месячные поля за период 1995–2012 гг. В типовом сезонном поле значения ГТК в пределах Украины уменьшаются с северо-запада и севера на юг и юго-восток, при этом засуха наблюдалась практически ежегодно в южных областях, Крыму и Приазовье. В районах Карпат и северных областях засушливые явления имеют небольшую продолжительность и интенсивность. Наибольшая однородность полей ГТК отмечена в мае-июле, что говорит об однообразии циркуляционных условий, проходивших в атмосфере в рассматриваемый период времени. По площади распространения и минимальным значениям ГТК в Украине наиболее засушливыми стали теплые сезоны 2000, 2005, 2007 и 2009 гг. В исследуемый период характерными оказались летние и летне-осенние засухи, при этом в августе и сентябре засухи разной интенсивности случаются



практически ежегодно в большинстве областей. Сильные весенне-летние засухи наблюдались в 1996, 2007 и 2009 г., летние – в 2007, 2009 и 2012 г. В осеннем периоде выделена сильная засуха 2011 г., которая в течение трех месяцев охватила 93,7 % территории страны.

### Список литературы

1. Багров Н.А. Статистическая теория распознавания в метеорологии // Труды ГМЦ СССР. 1983. №244. С. 51 – 62.
2. Барабаш М.Б., Емельянова Ж.Л. Закономерности пространственно-временного распределения засушливых условий на Украине // Труды УкрНИГМИ. 1990. №238. С. 94 – 101.
3. Бучинский И.Е. Засухи и суховеи. Л., 1976.
4. Груза Г.В., Коровкина Л.В. Климатический мониторинг процессов блокирования западного переноса в Северном полушарии // Метеорология и гидрология. 1991. №8. С. 11 – 17.
5. Клімат України / за ред. В.М. Ліпінського. Київ, 2003.
6. Мартазинова В.Ф., Тимофеев В.Е., Иванова Е.К. Атмосферная циркуляция южной полярной области и климат Антарктического п-ова. Киев, 2010.
7. Мартазинова В.Ф., Иванова Е.К., Чайка Д.Ю. Изменения крупномасштабной атмосферной циркуляции воздуха на протяжении XX века и ее влияние на погодные условия и региональную циркуляцию воздуха в Украине // Геофізичний журнал. 2006. Т. 28, №1. С. 51 – 60.
8. Мохов И.И. Аномальное лето 2010 г. в контексте общих изменений климата и его аномалий // Анализ условий аномальной погоды на территории России летом 2010 года. М., 2011. С. 41 – 47.
9. Селянинов Г.Т. Происхождение и динамика засух // Засухи в СССР. Их происхождение, повторяемость и влияние на урожай / под ред. А.И. Руденко. Л., 1958. С. 5 – 30.
10. Семёнова И.Г. Метеорологические и синоптические условия засухи в Украине осенью 2011 г. // Український гідрометеорологічний журнал. 2012. №10. С. 58 – 64.
11. Шакина Н.П., Иванова А.Р. Блокирующие антициклоны: современное состояние исследований и прогнозирования // Метеорология и гидрология. 2010. №11. С. 5 – 18.
12. Barriopedro D., Garcia-Herrera R., Lupo A.R. et al. A Climatology of Northern Hemisphere blocking // J. of Climate. 2006. Vol. 19. P. 1042 – 1063.
13. Cherenkova E.A., Kononova N.K., Muratova N.R. Summer drought 2010 in the European Russia // Geography, Environmental, Sustainability. 2013. №1 (6). P. 55 – 65.
14. Semenova I.G. Regional atmospheric blocking in the drought periods in Ukraine // Journal of Earth Science and Engineering. 2013. №3 (5). P. 341 – 348.

### Об авторе

Инна Георгиевна Семёнова – канд. геогр. наук, Одесский государственный экологический университет.  
E-mail: is\_od@list.ru

### About the author

Dr Inna Semenova, Odessa State Environmental University.  
E-mail: is\_od@list.ru