

УДК: 632.11:633%551.583

## ОЦЕНКА ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ ВКЛАДА ВЛАЖНОСТНОГО И ТЕРМИЧЕСКОГО ФАКТОРОВ В ЗАСУШЛИВОСТЬ ТЕРРИТОРИЙ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ И ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

М. В. Николаев

*ФБГНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»  
195220, Санкт- Петербург, Гражданский пр., 14  
E-mail: clenrusa@mail.ru*

*Поступила в редакцию 17 октября 2016 г., принята к печати 05 декабря 2016 г.*

В статье оценивается изменение вклада влажностного и термического факторов в засушливость территорий европейской части России и Западной Сибири за последние 70 лет. В качестве климатических индикаторов используются значения гидротермического коэффициента Г. Т. Селянинова (ГТК) за май-июнь, которые отвечают условиям появления засух разной интенсивности. На основе функционального анализа исследованы региональные тенденции к изменению степени засушливости территорий при меняющемся климате на двух 35-летних интервалах (1945–1979 гг. и 1980–2014 гг.). ГТК за май-июнь представляется в виде функции от двух переменных – сумм осадков и сумм температур воздуха за данный период – т.е. поверхности. Оценка вклада каждого из факторов в величину ГТК, а также изменение такого соотношения на указанных интервалах определяются с помощью проецирования поверхности на плоскость для каждого из факторов. В результате такой процедуры точки на графиках группируются в семейства вблизи заданных уровней ГТК. Преобладание в семействах точек, относящихся к первому и второму интервалам, и их сдвиг являются показателем изменения вклада влажностного и термического факторов в величину ГТК. Произведено сравнение повторяемости засух разной интенсивности, а также случаев их появления при накопленных температурах воздуха выше и ниже среднего многолетнего показателя. Обнаружено усиление влияния очень низких осадков на возникновение сильных и экстремальных засух в крайне засушливых регионах в 1980–2014 гг. Одновременно выявлен сдвиг сельскохозяйственных территорий, уязвимых к засухам, в северном направлении вследствие усиливающегося вклада термического фактора (вызывающего увеличение испарения) в учащение умеренных и слабых засух.

**Ключевые слова:** влажностный фактор, термический фактор, степень засушливости, функциональный анализ, изменяющийся климат, региональные изменения.

## ASSESSMENT OF CHANGING CONTRIBUTION OF MOISTURIZING AND THERMAL FACTORS TO DRYING TENDENCY IN THE EUROPEAN PART OF RUSSIA AND WESTERN SIBERIA

M. V. Nikolaev

*Agrophysical Research Institute, 14, Grazhdanskiy pr., Saint Petersburg, 195220  
E-mail: clenrusa@mail.ru*

The paper evaluates the changing contribution of precipitation totals and temperature conditions to semiarid areas transformation in the European part of Russia and Western Siberia over the last 70 years. The area under study includes drylands and prairies covering the Middle/Lowland Volga region and the South Ural region as well as grasslands in the south-western and northern (mainly Western Siberia) parts of the principal cultivable area for cereal crops. The certain values of the G.T. Selianinov Index (the HTC index for May- June) are applied as indicators of drought occurrence and drought severity. Based on the functional analysis, the regional trends in drying in the changing climate for two 35-yr intervals: 1945–1979 and 1980–2014 are investigated. The HTC index is considered as a function of two variables (precipitation totals and degree-days) or as a surface, which is represented in the two horizontal axes – precipitation sums and air temperature sums – and a vertical axis – the HTC index values. Made is the assessment of the contribution of each factor to the HTC index values and also their variation ratios to the HTC index values in specific intervals by means of this surface projection to the plane for each of these factors. As a result, all dots in the plots are grouped in to a family nearby the specified HTC index levels. Predominance in the families of dots related to 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> intervals and their shift is an indicator of changing contribution of precipitation totals and thermal conditions to the HTC index value. Made is comparison of drought recurrence intensities as well as occurrences under accumulated air temperatures above and below the mean annual value over the recent seven decades. Discovered is the increase in

contribution of very low precipitation totals to occurrence of severe and extreme droughts in the extremely dry regions within 1980–2014. Simultaneously revealed is the shift of agricultural areas vulnerable to drought effects northward due to increasing contribution of thermal conditions (causing evaporation increase) to more frequent repetition of moderate and light droughts. Established is drought climatology in the European part of Russia and Western Siberia which is an agreement with changing character of drought formation conditions over this territory in a warming climate and reflects the global tendency in expanding internal areas vulnerable to dryness factor.

**Key words:** moisturizing conditions, thermal conditions, dryness factor, functional analysis, changing climate, regional change, drying tendency.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время глобальному и макро-региональному мониторингу засух с целью их предсказания для оптимизации агротехнологий и рационального размещения посевов придается весьма большое значение (Boken et al., 2005; Vogt et al., 2000; Eitzinger et al., 2007).

Согласно выводам МГЭИК, помещенным в «5-ом оценочном докладе об изменении климата», с развитием потепления одновременно наблюдается усиление контраста между сухими и переувлажненными областями и сухими и влажными сезонами в планетарном масштабе (Climate..., 2014; Greve et al., 2014). В частности, на основе анализа 60-летних рядов индексов глобальных осадков выявлен статистически значимый тренд к усилению аридности в полузасушливых зонах средних и низких широт (Dai, 2012). Модельные оценки также свидетельствуют о вероятном появлении суровых и широко распространяющихся засух во многих частях мира в последующие 30–90 лет в результате уменьшения количества осадков и (или) увеличения испарения (Trenberth et al., 2014).

Цель данного исследования заключалась в том, чтобы, принимая во внимание нарастающие изменения климата, проанализировать и оценить соотношение вклада влажностного и термического факторов в трансформацию засушливых зон в ЕЧР и Западной Сибири. К основной задаче исследования относится разработка методологии получения региональных оценок изменения такого вклада во времени и пространстве с учетом разной степени засушливости сельскохозяйственных регионов. Накопленный объем данных также позволил использовать ряд новых подходов, которые в связи с недостаточностью информации и ограниченностью способов

интерпретации ранее не удавалось реализовать.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исходя из агроклиматических особенностей в качестве исследуемых территорий были выбраны сухостепные и степные пространства левобережья р. Волги и южного Урала, западная и южная лесостепь (ЦЧР и западная часть Ставропольского края) и лесостепные/степные районы Западной Сибири. Исходная информация представлена в виде временных рядов средних месячных значений температуры воздуха и помесечных сумм осадков за 70 лет – с 1945 по 2014 гг. (в отдельных случаях использованы укороченные выборки, начиная с 1950 г.). Методы исследования включают: выбор агроклиматических индикаторов для характеристики степени засушливости; преобразование и фильтрацию исходных временных рядов; климатический анализ данных на временных интервалах; функциональный анализ, включающий проецирование трехмерного изображения на плоскость координат; частотный анализ появления засух. Последовательность используемых методов и способы их реализации представлены ниже.

### Выбор наиболее удобного агроклиматического индикатора в общем виде

В настоящем исследовании в качестве агроклиматического индикатора выбран гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова (1958). Преимущества его использования заключаются в следующем:

– содержит переменные – температуру воздуха и осадки, которые оказывают прямое влияние на условия произрастания культур;

– увязывается с фенологическим календарем культур и, таким образом,

описывает особенности внешних условий на отрезках вегетации;

- разработана градация ГТК в виде диапазонов его значений, характеризующих степень засушливости;

- является картируемым показателем – как непосредственно, так и в виде % лет с его определенными значениями;

- обеспечен большим количеством пространственно-временной информации для вычисления;

- содержащиеся в нем климатические переменные наиболее надежно оцениваются по климатическим сценариям;

- рекомендован Росгидрометом и ВМО в качестве показателя для проведения агроклиматического анализа и исследований.

Так, в исследовании М. В. Николаева (2015 а, б) обоснована применимость данного индикатора для оценки границ зон рискованного земледелия на территории России в условиях современных климатических изменений. Гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова также был использован для оценки влияния ожидаемых изменений климата на выращивание орошаемых культур в северо-центральной Польше. При помощи имитационного моделирования гидротермических условий с привлечением трех моделей глобальной циркуляции атмосферы и океана установлено, что на временном срезе 2050–2060 гг. вероятность появления умеренно-сухих, сухих, очень сухих и экстремально сухих периодов в указанной части Польши может увеличиться в 2–4 раза (Kuchar et al., 2015). Картирование хода гидротермического коэффициента Г. Т. Селянинова, осуществленное для Поволжья с использованием численного моделирования климата, также свидетельствует об усилении засушливости в будущем, хотя палеоклиматические сценарии скорее указывают на противоположную тенденцию для данного региона (Коломыц, 2005).

Для комплексной оценки влияющих факторов можно использовать также некоторые другие показатели, например, радиационный индекс сухости М. И. Будыко (1971) или индекс Палмера (Alley, 1984). Однако при этом приходится сталкиваться с

пространственной ограниченностью их приложения – либо по причине недостаточности данных о составляющих радиационного баланса, либо в связи с отсутствием долгосрочной информации о почвенном влагосодержании и сложностью картирования.

#### **Выбор агроклиматических критериев степени засушливости**

Исходя из подхода А. В. Процера (1957) при исследовании указанных засушливых и полусушливых территорий отдано предпочтение анализу значений ГТК за май – июнь, так как именно на протяжении данного периода здесь определяется формирование конечного урожая ранних яровых культур (межфазный отрезок «всходы – колошение») и озимых культур (межфазный отрезок «выход в трубку – молочная спелость»). Для характеристики засух по их интенсивности (т.е. категорий засух) использована градация низких значений ГТК, предложенная Е. К. Зоидзе (2007). Согласно последней, засуха подразделяется на следующие категории: слабую –  $0,61 \leq ГТК_{Y.VI} < 0,75$ ; умеренную –  $0,40 \leq ГТК_{Y.VI} < 0,60$ ; сильную –  $0,20 \leq ГТК_{Y.VI} < 0,39$  и экстремальную –  $ГТК_{Y.VI} < 0,19$ .

#### **Преобразование и фильтрация временных рядов для характеристики засушливости территорий**

Исходные 70-летние ряды средних месячных значений температуры воздуха и помесечных сумм осадков преобразованы в ряды сумм температур и сумм осадков за период с 1 мая по 30 июня. Затем в указанных выборках отфильтрованы годы с такими значениями сумм температур и сумм осадков, когда производный от них ГТК индицирует засуху, т.е.  $ГТК_{Y.VI} < 0,75$ . Таким образом, получены новые временные реализации, в которых представлена последовательность лет со значениями сумм температур и сумм осадков, соответствующими критерию возникновения засухи. Размер таких реализаций варьируется в зависимости от степени засушливости региона и содержит разное количество лет с засухой определенной категории.

### Выбор временных интервалов для последующего сравнения

Оценка изменения агроклиматического фона за последние 70 лет осуществлялась посредством сравнения осредненных значений сумм температур, сумм осадков и ГТК для 30-летних интервалов путем сдвига последних на пять лет, начиная с 1945 и заканчивая 2014 гг. (30-летние или более длительные периоды рекомендованы ВМО для проведения климатического анализа).

Наблюдаемые региональные тенденции свидетельствуют о заметных отличиях в средних показателях между 30-летними интервалами до и после 1980 г. Это выражается в росте показателей теплообеспеченности. Так, прирост сумм температур за май-июнь в лесостепи ЦЧР составил от 30°C до 40°C, в степи и сухой степи Поволжья и южного Урала – от 40°C до 50°C, в лесостепи Западной Сибири – от 50°C до 60°C. Таким образом, при изменяющемся климате в динамике ресурсов теплообеспеченности присутствует возрастающий тренд, причем в более северных районах он выражен заметнее, чем в более южных.

В изменении показателей влагообеспеченности (сумм осадков и ГТК за те же месяцы) обнаруживается тренд к увеличению сумм осадков в областях ЦЧР, лесостепном Предуралье и частично в Поволжье на 20–25 мм при увеличении  $ГТК_{У-VI}$  от 10% до 25%. Однако для степной зоны южного Урала, Зауралья и Западной Сибири тренды к изменению сумм осадков не выявлены (за исключением Курганской области, где суммы осадков имеют незначительный прирост на 5 мм).

С учетом наличия таких тенденций к изменению агроклиматического фона представляется целесообразным разделить 70-летний период на два 35-летних интервала для последующего сравнения вклада влажностного и термического факторов в трансформацию засушливых зон.

### Методология оценки изменения вклада влажностного и термического факторов в трансформацию засушливых зон

Вследствие наличия стохастичности для такой оценки представляется удобным применить к преобразованным выборкам функциональный анализ. При таком подходе ГТК представляется в виде функции от двух переменных – осадков и температуры. В трехмерном изображении это представляет собой поверхность, на которой по горизонтальным осям отложены суммы осадков и суммы температур, а по вертикали – значения ГТК. Вид такой поверхности определяется видом функции, которая в случае ГТК представляет дробную функцию с коэффициентом 10, а ее наклон – величиной частных производных по аргументам. Поверхность ограничена таким образом, что вмещает диапазоны изменения сумм осадков, сумм температур и соответственных значений  $ГТК_{У-VI}$ , отражая изменение природных условий средних широт по фактору засушливости – от пустыни до полувлажных склонов горных поднятий. На поверхность в виде поля точек нанесены значения  $ГТК_{У-VI}$ , относящиеся к двум интервалам – 1945–1979 гг. и 1980–2014 гг. (верхнее изображение на рис. 1–3). Для градации засух по интенсивности на поверхности также проведены изолинии значений  $ГТК_{У-VI}$ , отвечающие критерию экстремальной, сильной, умеренной и слабой засухи.

Оценка вклада каждого из факторов в величину ГТК, а также изменение такого соотношения на интервалах 1945–1979 гг. и 1980–2014 гг. определяется при помощи проецирования поверхности на плоскость для каждого из факторов (нижние изображения на рис. 1–3). В результате такой процедуры точки на графиках группируются в семейства вблизи заданных уровней ГТК. Преобладание в семействах точек, относящихся к первому и второму интервалам, и их сдвиг являются показателем изменения вклада влажностного и термического факторов в величину ГТК на интервалах 1945–1979 гг. и 1980–2014 гг.

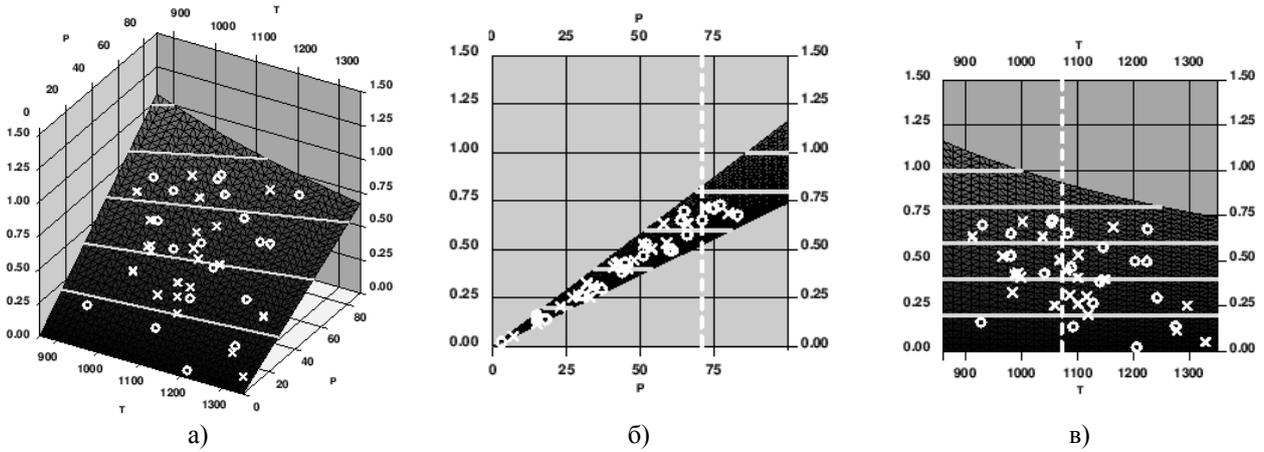


Рис. 1. Вклад влажностного и термического факторов в  $GTK_{Y.VI}$ .  
 Ершов: 51,4° N; 48,3° E (сухая степь).

Пунктир – 70-летние средние:  $\Sigma P_{Y.VI} = 71$  мм;  $\Sigma T_{Y.VI} = 1072^\circ C$ ;  
 x – интервал 1945–1979 гг.; o – интервал 1980–2014 гг.

- а) трехмерное изображение связи  $GTK_{Y.VI}$  с суммами осадков и суммами температур;
- б) проекция на плоскость, демонстрирующая вклад сумм осадков в величину  $GTK_{Y.VI}$   
 (по горизонтали:  $\Sigma P_{Y.VI}$ , мм; по вертикали:  $GTK_{Y.VI}$ );
- в) проекция на плоскость, демонстрирующая вклад сумм температур в величину  $GTK_{Y.VI}$   
 (по горизонтали:  $\Sigma T_{Y.VI}$ , °C; по вертикали:  $GTK_{Y.VI}$ ).

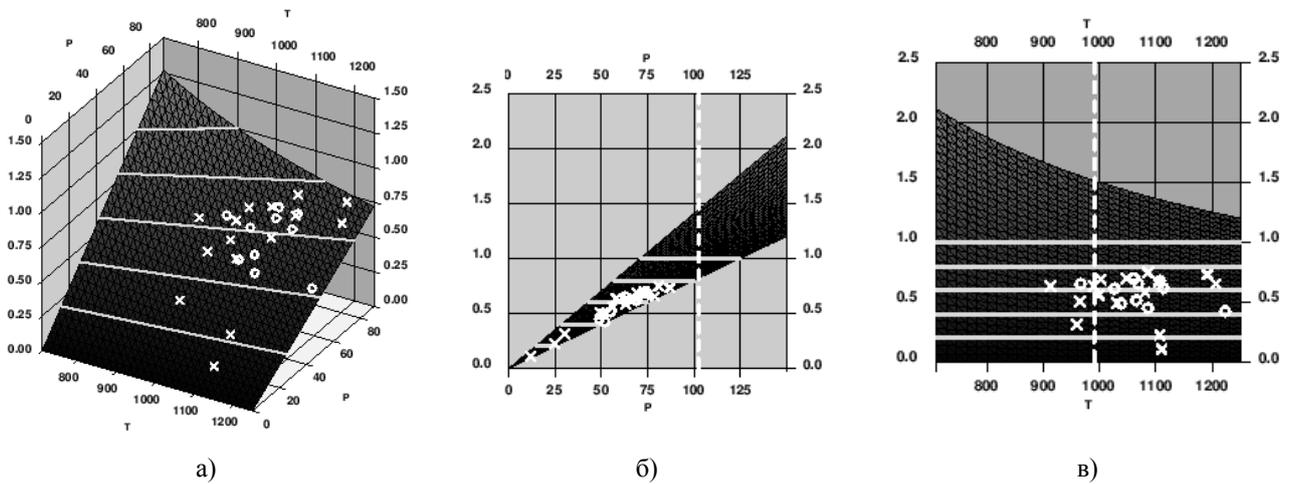


Рис. 2. Вклад влажностного и термического факторов в  $GTK_{Y.VI}$ .  
 Тамбов: 52,8° N; 41,3° E (западная лесостепь).

Пунктир – 70-летние средние:  $\Sigma P_{Y.VI} = 103$  мм;  $\Sigma T_{Y.VI} = 991^\circ C$ ;  
 x – интервал 1945–1979 гг.; o – интервал 1980–2014 гг.

- а) трехмерное изображение связи  $GTK_{Y.VI}$  с суммами осадков и суммами температур;
- б) проекция на плоскость, демонстрирующая вклад сумм осадков в величину  $GTK_{Y.VI}$   
 (по горизонтали:  $\Sigma P_{Y.VI}$ , мм; по вертикали:  $GTK_{Y.VI}$ );
- в) проекция на плоскость, демонстрирующая вклад сумм температур в величину  $GTK_{Y.VI}$   
 (по горизонтали:  $\Sigma T_{Y.VI}$ , °C; по вертикали:  $GTK_{Y.VI}$ ).

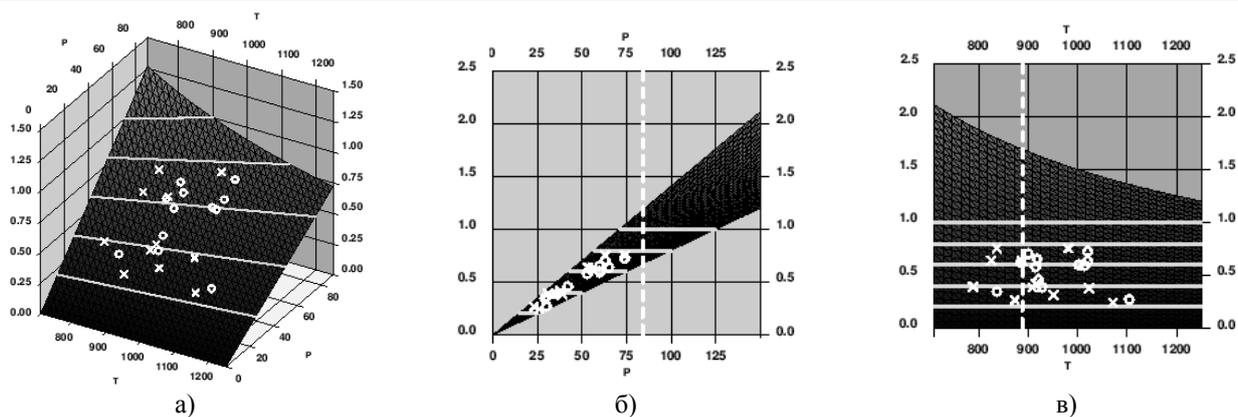


Рис. 3. Вклад влажностного и термического факторов в  $ГТК_{Y.VI}$ . Омск: 55,0° N; 73,4° E (северная лесостепь).

Пунктир – 70-летние средние:  $\Sigma P_{Y.VI}=84$  мм;  $\Sigma T_{Y.VI}=888^{\circ}\text{C}$ ;

x – интервал 1945–1979 гг.; o – интервал 1980–2014 гг.

а) трехмерное изображение связи  $ГТК_{Y.VI}$  с суммами осадков и суммами температур; б) проекция на плоскость, демонстрирующая вклад сумм осадков в величину  $ГТК_{Y.VI}$  (по горизонтали:  $\Sigma P_{Y.VI}$ , мм; по вертикали:  $ГТК_{Y.VI}$ );

в) проекция на плоскость, демонстрирующая вклад сумм температур в величину  $ГТК_{Y.VI}$  (по горизонтали:  $\Sigma T_{Y.VI}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ; по вертикали:  $ГТК_{Y.VI}$ )

С другой стороны, теснота связи ГТК с каждым из факторов оценивается по разбросу точек при переходе от одного уровня значений ГТК к другому. Разброс точек на графиках, относящихся к осадкам, является незначительным. Это указывает на наличие тесной связи между изменением сумм осадков и величиной ГТК (выражается значениями линейных коэффициентов корреляции, превышающими 0,90). Особенно наглядно это прослеживается при очень низких значениях сумм осадков и ГТК. Но при увеличении количества осадков и величины ГТК разброс точек возрастает, что свидетельствует об усилении влияния другого фактора – сумм температур. В то же время разброс точек на графиках, отражающих связь между изменениями сумм температур и ГТК, является значительным, что подтверждает определяющую роль осадков. На графиках пунктирными линиями также показаны нормы осадков и средние многолетние значения сумм температур за 70 лет для выбранных станций.

Следует отметить, что условия засушливости почти всегда возникают при количестве осадков ниже нормы, тогда как суммы температур могут оказываться как выше, так и ниже их среднего многолетнего значения. При наблюдаемом смещении полей точек относительно средних многолетних сумм осадков и сумм температур на рис. 1–3 также можно проследить возрастающую повторяемость маргинальных значений  $ГТК_{Y.VI}$  в крайне

засушливых районах на интервале 1980–2014 гг. Одновременно диапазон разброса точек, относящихся к указанному интервалу, оказывается больше, чем на интервале 1945–1979 гг. Последнее может быть объяснено усилением экстремальности климатических условий по фактору засушливости в данных районах в последние десятилетия.

Пространственно-временной анализ позволил установить ряд представленных ниже региональных особенностей повторяемости засух различной интенсивности.

В табл. 1.1 показана повторяемость засух в степных и сухостепных пространствах Поволжья и южного Урала на двух 35-летних интервалах (1945–1979 гг. и 1980–2014 гг.). Из таблицы следует, что повторяемость экстремальных и сильных засух (индицируются значениями  $ГТК_{Y.VI}$ , которые соответствуют очень малым суммам осадков) на втором интервале возросла в 2–4 раза. Исключением является Балашов, расположенный в правобережье р. Волги вблизи границы ЦЧР, для которого отмечено ослабление засушливости. Соотношение случаев появления засух различных категорий при суммах температур выше и ниже среднего многолетнего значения представлено в табл. 1.2. Из нее следует, что экстремальные засухи почти всегда происходят на фоне повышенной температуры. Их частота резко возрастает в степной зоне левобережья р. Волги и южного Урала.

Таблица 1.1. Повторяемость засух разной интенсивности, (%) лет  
**Степь и сухая степь**  
 (учащение повторяемости выделено жирным)

Станция координаты	Категория засухи							
	слабая (% лет) 0,61=<ГТК <sub>v-vi</sub> =<0,75		умеренная (% лет) 0,40=<ГТК <sub>v-vi</sub> =<0,60		сильная (% лет) 0,20=<ГТК <sub>v-vi</sub> =<39		экстремальная (% лет) ГТК <sub>v-vi</sub> =<0,19	
	1945– 1979	1980– 2014	1945– 1979	1980– 2014	1945– 1979	1980– 2014	1945– 1979	1980– 2014
Стерлитамак (степь) 53,6° N 56,0° E	9%	9%	11%	11%	<b>3%</b>	<b>6%</b>	<b>3%</b>	<b>6%</b>
Безенчук (степь) 53,0° N 46,4° E	23%	20%	26%	6%	6%	6%	<b>3%</b>	<b>9%</b>
Балашов (степь) 51,6 °N 43,2° E	<b>3%</b>	<b>14%</b>	23%	6%	14%	14%	3%	0%
Оренбург (сухая степь) 51,8° N 55,6° E	14%	11%	23%	20%	<b>11%</b>	<b>26%</b>	6%	6%
Ершов (сухая степь) 51,4° N 48,3° E	<b>11%</b>	<b>7%</b>	26%	17%	20%	9%	<b>6%</b>	<b>11%</b>

Таблица 1.2. Соотношение повторяемости случаев засухи разной интенсивности при  
**суммах температур выше (числитель) и ниже (знаменатель) среднего многолетнего  
 значения**

(100% – всегда при суммах температур выше среднего многолетнего значения)

**Степь и сухая степь**

Станция координаты	Категория засухи							
	слабая (% лет) 0,61=<ГТК <sub>v-vi</sub> =<0,75		умеренная (% лет) 0,40=<ГТК <sub>v-vi</sub> =<0,60		сильная (% лет) 0,20=<ГТК <sub>v-vi</sub> =<39		экстремальная (% лет) ГТК <sub>v-vi</sub> =<0,19	
	1945– 1979	1980– 2014	1945– 1979	1980– 2014	1945– 1979	1980– 2014	1945– 1979	1980– 2014
Стерлитамак (степь) 53,6° N 56,0° E	1/2	1/2	<b>2/1</b>	<b>3/1</b>	<b>100%</b>	1/1	<b>100%</b>	<b>100%</b>
Безенчук (степь) 53,0° N 46,4° E	<b>5/3</b>	<b>5/2</b>	3/6	0/2	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
Балашов (степь) 51,6 °N 43,2° E	<b>100%</b>	<b>3/2</b>	<b>6/2</b>	<b>100%</b>	<b>3/2</b>	<b>4/1</b>	<b>100%</b>	–
Оренбург (сухая степь) 51,8° N 55,6° E	2/3	2/2	3/5	<b>5/2</b>	<b>3/1</b>	<b>6/3</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
Ершов (сухая степь) 51,4° N 48,3° E	1/3	2/4	4/5	<b>4/2</b>	<b>5/2</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>3/1</b>

Повторяемость засух на 35-летних интервалах в западной и южной лесостепи (ЦЧР и западная часть Ставрополья) представлена в табл. 2.1. Здесь, наоборот, отмечается ослабление засушливости. Это выражается в отсутствии экстремальных засух и резком сокращении % лет с

сильными засухами (особенно в ЦЧР) на интервале 1980–2014 гг. Но в то же время характерно, что случаи умеренной засухи на указанном интервале всегда возникают при суммах температур выше их среднего многолетнего показателя (табл. 2.2).

Таблица 2.1. **Повторяемость засух разной интенсивности, (%) лет**  
**Западная и южная лесостепь**  
(учащение повторяемости выделено жирным)

Станция координаты	Категория засухи							
	слабая (% лет) 0,61=<ГТК <sub>v-vi</sub> =<0,75		умеренная (% лет) 0,40=<ГТК <sub>v-vi</sub> =<0,60		сильная (% лет) 0,20=<ГТК <sub>v-vi</sub> =<39		экстремальная (% лет) ГТК <sub>v-vi</sub> =<0,19	
	1945– 1979	1980– 2014	1945– 1979	1980– 2014	1945– 1979	1980– 2014	1945– 1979	1980– 2014
Курск 51,8° N 36,2° E	<b>3%</b>	<b>9%</b>	6%	6%	3%	3%	0%	0%
Богородицкое- Фенино 51,2° N 37,3° E	9%	9%	<b>3%</b>	<b>9%</b>	6%	0%	3%	0%
Воронеж 51,6° N 39,2° E	<b>6%</b>	<b>9%</b>	6%	3%	6%	3%	0%	0%
Конь-Колодезь 52,7° N 39,5° E	9%	3%	3%	3%	6%	0%	0%	0%
Тамбов 52,8° N 41,3° E	23%	17%	11%	11%	6%	0%	3%	0%
Ставрополь 45,1° N 42,1° E	3%	3%	9%	6%	<b>0%</b>	<b>3%</b>	3%	0%

Таблица 2.2. **Соотношение повторяемости случаев засухи разной интенсивности при суммах температур выше (числитель) и ниже (знаменатель) среднего многолетнего значения**

(**100%** – всегда при суммах температур выше среднего многолетнего значения)

**Западная и южная лесостепь**

Станция координаты	Категория засухи							
	слабая (% лет) 0,61=<ГТК <sub>v-vi</sub> =<0,75		умеренная (% лет) 0,40=<ГТК <sub>v-vi</sub> =<0,60		сильная (% лет) 0,20=<ГТК <sub>v-vi</sub> =<39		экстремальная (% лет) ГТК <sub>v-vi</sub> =<0,19	
	1945– 1979	1980– 2014	1945– 1979	1980– 2014	1945– 1979	1980– 2014	1945– 1979	1980– 2014
Курск 51,8° N 36,2° E	<b>100%</b>	<b>2/1</b>	1/1	1/1	<b>100%</b>	<b>100%</b>	–	–
Богородицкое- Фенино 51,2° N 37,3° E	1/2	0/3	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	–	<b>100%</b>	–
Воронеж 51,6° N 39,2° E	1/1	<b>100%</b>	1/1	0/1	<b>100%</b>	<b>100%</b>	–	–
Конь-Колодезь 52,7° N 39,5° E	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>2/1</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	–	–	–
Тамбов 52,8° N 41,3° E	<b>6/2</b>	<b>5/1</b>	<b>3/1</b>	<b>100%</b>	1/1	–	<b>100%</b>	–
Ставрополь 45,1° N 42,1° E	0/1	0/1	<b>100%</b>	<b>100%</b>	–	<b>100%</b>	<b>100%</b>	–

Табл. 3.3 иллюстрирует повторяемость засух на двух интервалах в лесостепных пространствах севернее 54° N, включая Предуралье, Зауралье и Западную Сибирь. Отмечается существенное повышение частоты умеренных и слабых засух на интервале 1980–2014 гг. по сравнению с интервалом 1945–1979 гг. Так, например, повторяемость умеренных засух в Уфе и

Тюмени увеличилась вдвое, а в Омске – втрое. В то же время повторяемость слабых засух в Кургане возросла с 11% лет до 23% лет. Из табл. 3.2 также следует, что умеренные засухи практически всегда сопровождаются повышенной температурой, а слабые засухи возникают значительно чаще при суммах температур выше их средней многолетней величины.

Таблица 3.1. **Повторяемость засух разной интенсивности, (%) лет**  
**Северная лесостепь**  
(учащение повторяемости выделено жирным)

Станция координаты	Категория засухи							
	слабая (% лет) 0,61=<ГТК <sub>v-vi</sub> =<0,75		умеренная (% лет) 0,40=<ГТК <sub>v-vi</sub> =<0,60		сильная (% лет) 0,20=<ГТК <sub>v-vi</sub> =<39		экстремальная (% лет) ГТК <sub>v-vi</sub> =<0,19	
	1945– 1979	1980– 2014	1945– 1979	1980– 2014	1945– 1979	1980– 2014	1945– 1979	1980– 2014
Уфа 54,7° N 55,8° E	<b>11%</b>	<b>14%</b>	<b>6%</b>	<b>11%</b>	6%	6%	3%	3%
Тюмень 57,1° N 65,4° E	<b>9%</b>	<b>11%</b>	<b>3%</b>	<b>6%</b>	3%	0%	0%	0%
Курган 55,5° N 65,4° E	<b>11%</b>	<b>23%</b>	<b>11%</b>	<b>17%</b>	14%	6%	0%	0%
Омск 55,0° N 72,4° E	<b>11%</b>	<b>14%</b>	<b>3%</b>	<b>9%</b>	17%	9%	0%	0%
Барабинск 55,2° N 78,2° E	11%	9%	14%	6%	<b>3%</b>	<b>9%</b>	3%	0%

Таблица 3.2. **Соотношение повторяемости случаев засухи разной интенсивности при суммах температур выше (числитель) и ниже (знаменатель) среднего многолетнего значения**

(100% – всегда при суммах температур выше среднего многолетнего значения)

**Северная лесостепь**

Станция координаты	Категория засухи							
	слабая (% лет) 0,61=<ГТК <sub>v-vi</sub> =<0,75		умеренная (% лет) 0,40=<ГТК <sub>v-vi</sub> =<0,60		сильная (% лет) 0,20=<ГТК <sub>v-vi</sub> =<39		экстремальная (% лет) ГТК <sub>v-vi</sub> =<0,19	
	1945– 1979	1980– 2014	1945– 1979	1980– 2014	1945– 1979	1980– 2014	1945– 1979	1980– 2014
Уфа 54,7° N 55,8° E	<b>3/1</b>	<b>3/2</b>	0/2	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
Тюмень 57,1° N 65,4° E	<b>2/1</b>	<b>3/1</b>	0/1	<b>100%</b>	<b>100%</b>	–	–	–
Курган 55,5° N 65,4° E	2/2	<b>5/3</b>	<b>3/1</b>	<b>100%</b>	<b>4/1</b>	1/1	–	–
Омск 55,0° N 72,4° E	2/2	<b>4/1</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>4/2</b>	<b>2/1</b>	–	–
Барабинск 55,2° N 78,2° E	2/2	<b>2/1</b>	<b>4/1</b>	1/1	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	–

**ВЫВОДЫ**

Региональные оценки изменяющегося вклада влажностного и термического факторов в засушливость свидетельствуют о наличии следующих тенденций:

– обнаруживается усиление влияния повторяемости очень низких осадков на возникновение суровых засух в крайне засушливых и засушливых областях левобережья р. Волги и южного Урала. Однако на интервале 1980–2014 гг. маргинальные значения ГТК за май – июнь отмечаются значительно чаще при суммах температур выше их средней многолетней величины. Обращает на себя внимание факт резкого учащения экстремальных засух в степной зоне данного субрегиона, расположенной севернее сухостепных пространств;

– в полузасушливых (лесостепных) регионах западной и южной частей черноземной полосы в последние 35 лет, наоборот, отмечается ослабление засушливости, несмотря на то, что в отдельных районах слабые засухи стали возникать несколько чаще;

– термический фактор оказывает существенное влияние на учащение умеренных и слабых засух в северной лесостепи. В Среднем Предуралье, Зауралье и Западной Сибири на интервале 1980–2014 гг. повторяемость таких засух возросла почти вдвое (и даже более) по сравнению с интервалом 1945–1979 гг. вследствие значительного прироста сумм температур.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, выделяются группы сельскохозяйственных территорий, на которых засухи либо учащаются и усиливаются, либо возникают реже или ослабевают. Граница, разделяющая такие территории, проходит примерно вдоль нижнего течения р. Волги, оставляя к востоку крайне уязвимые к воздействию суровых засух регионы. Кроме того, наблюдается одновременное смещение сельскохозяйственной зоны России, уязвимой к засухам, в северном направлении под воздействием повышающегося температурного фона, приводящего к увеличению испарения.

Установленная картина климатологии засух на ЕЧР и в Западной Сибири согласуется с характером циркуляционных условий их формирования над указанными территориями (с учетом влияния подстилающей поверхности) в начале текущего столетия, включая появление «великой» засухи 2010 г. Последние условия, по всей видимости, связаны с преобладанием в теплеющем климате долготного (северного) типа циркуляции, вызванного вторжениями арктических антициклонов, над широтным (западным) типом циркуляции, определяемым отрогом азорского антициклона. С другой стороны, полученная картина климатологии засух отражает также глобальную тенденцию к расширению внутриконтинентальных областей, уязвимых по фактору засушливости.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- Биоклиматический потенциал России: методы мониторинга в условиях изменяющегося климата / Под ред. А. В. Гордеева. М.: РАСХН, 2007. С. 35–57.
- Будыко М. И. 1971. Климат и жизнь. Л.: Гидрометеиздат. 472 с.
- Коломыц Э. Г. 2005. Бореальный экотон и географическая зональность (Атлас-монография). М.: Наука. 390 с.
- Николаев М. В. 2015. Оценка смещения границ зон рискованного земледелия в условиях изменения климата // Известия Русского Географического Общества РАН. СПб.: Наука. Т. 147. Вып. 1. С. 54–65.
- Николаев М. В. 2015. Использование метода пространственно-временных аналогов для оценок уязвимости земледелия к воздействию климатических изменений // Известия Русского Географического Общества РАН. СПб.: Наука. Т. 147. Вып. 2. С. 1–12.
- Процеров А. В. 1957. Оценка влагообеспеченности яровой пшеницы (овса и ячменя) в период вегетации // Сборник методических указаний по анализу и оценке сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий. Л.: Гидрометеиздат. С. 49–53.
- Селянинов Г. Т. 1958. Принципы агроклиматического районирования СССР // Вопросы агроклиматического районирования СССР. М.: МСХ СССР. С. 7–13.
- Черникова Е. А., Семенова И. Г., Кононова Н. К., Титкова Т. Б. 2014. Засухи и динамика синоптических процессов на юге Восточно-Европейской равнины в начале XXI века // Аридные экосистемы. М.: Товарищество научных изданий КМК. Т. 21. № 2(63). С. 1–21.

- Alley W.M. 1984. The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions // *Journal of Climate and Applied Meteorology*. Vol.23, pp. 1100–1109.
- Barriopedro D., Fischer E.M., Luterbacher J., Trigo R.M., Garcia-Herrera R. 2011. The hot summer of 2010, redrawing the temperature record map of Europe // *Science*, 332, pp. 220–224.
- CLIMATE CHANGE 2014 Synthesis Report / Edited by The Core Writing Team, Rajendra K. Pachauri, Leo Meyer. WMO, Geneva, 2014. 132 p.
- Dai A. 2012. Increasing drought under global warming in observations and models // *Nature Clim. Change*, 3, pp. 52–58.
- Drought and drought mitigation in Europe / J.V. Vogt, F. Somma (eds). Springer, Dordrecht, Kluwer Academic Publisher, 2000. 314 p.
- Eitzinger J., Utset A., Trnka M., Zalud Z., Nikolaev M., Uskov I. 2007. Weather, climate and optimization of farm technologies at different input levels // *Managing Weather and Climate Risks in Agriculture* / M. V. K. Sivakumar, R. Motha (eds.). Chapter 10. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp. 141–170.
- Greve P. et al. 2014. Global assessment of trends in wetting and drying over land // *Nature Geosci.*, 7, pp. 716–721.
- Kuchar L., Iwanski S., Diakowska E., Gasiorek E. Simulation of hydrothermal conditions for crop production purpose until 2050–2060 and selected climate change scenarios for North Central Poland // *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich – Infrastructure and Ecology of Rural Areas*. Nr. II/1/2015, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, pp. 319–334.
- Monitoring and predicting agricultural drought / V. K. Boken, A. P. Cracknell, R. L. Heathcote (eds.). Oxford, Oxford University Press, 2005. 496 p.
- Trenberth K. E. et al. 2014. Global warming and changes in drought // *Nature Clim. Change*, 4, pp. 17–22.