

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-5-136-145>

УДК 630*:551.577.3



ПОВТОРЯЕМОСТЬ И ИНТЕНСИВНОСТЬ ЗАСУХ И ДИНАМИКА РЕЖИМА УВЛАЖНЕНИЯ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЛЕСОСТЕПИ

С.М. Матвеев¹, Д.А. Литовченко²

^{1,2} Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова

¹ lisovod@bk.ru; ORCID: 0000-0001-8532-1484;

² timashchuk90@mail.ru; ORCID: 0000-0003-2973-7447

Аннотация. Целью исследований является анализ повторяемости и интенсивности засух и динамики ключевых метеорологических факторов (сумм атмосферных осадков и температур воздуха) в Центральной лесостепи (ЦЧР), определяющих условия произрастания древесных растений. Анализ динамики режима увлажнения на территории Центральной лесостепи выполнен с использованием гидротермического коэффициента Г.Т. Селянина (ГТК), рассчитанного по данным метеостанций № 34123 «Воронеж», № 27930 «Липецк», № 34214 «Белгород», № 34009 «Курск». Повторяемость сильных засух ($\text{HTC}_{\text{m-s}}$ 0,3-0,6) по названным метеостанциям за последние 85 лет (1940-2024) составила от 3 до 6, умеренных ($\text{HTC}_{\text{m-s}}$ 0,6-0,8) – от 3 по метеостанции «Курск» до 14 по метеостанции «Белгород». Выявлен сильный вклад сумм атмосферных осадков в значения ГТК за период май-сентябрь, связь высокая ($r = 0,91$), вклад температур воздуха меньше, связь значительная ($r = 0,69$). Динамика значений ГТК за период май-сентябрь показывает общее снижение уровня влагообеспеченности территории Центральной лесостепи, особенно в последнем тридцатилетии. По всем метеостанциям наблюдается значительный рост средних температур воздуха. Распределение сумм атмосферных осадков по полугодиям показало снижение и в теплом, и в холодном периодах по метеостанциям «Белгород» и «Липецк» и небольшой рост в холодном периоде по метеостанциям «Воронеж» и «Курск». Средние значения ГТК_{m-s} за период наблюдений по названным метеостанциям составили: «Воронеж» – 1,06; «Липецк» – 1,07; «Белгород» – 1,03; «Курск» – 1,25. В последнем тридцатилетии значения составили: «Воронеж» – 1,03; «Липецк» – 0,96; «Белгород» – 0,94; «Курск» – 1,22.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 24-16-20047 «Структура популяций и внутривидовая изменчивость дендрофенотипов сосны обыкновенной и дуба черешчатого как основа адаптационной устойчивости к изменениям климата и иным внешним воздействиям».

Ключевые слова: метеостанции, сумма атмосферных осадков, засуха, гидротермический коэффициент Селянина, условия произрастания древесных растений

Формат цитирования: Матвеев С.М., Литовченко Д.А. Повторяемость и интенсивность засух и динамика режима увлажнения в Центральной лесостепи // Природообустройство. 2025. № 5. С. 136-145. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-5-136-145>

Original article

FREQUENCY AND INTENSITY OF DROUGHTS AND DYNAMICS OF THE MOISTURE REGIME IN THE CENTRAL FOREST-STEPPE

S.M. Matveev¹, D.A. Litovchenko²

^{1,2} Voronezh state university of forestry and technologies named after G.F. Morozov; 394087, Voronezh, Timiryazev st., 8. Russia

Abstract. The analysis of the dynamics of the moisture regime in the Central forest-steppe was performed using the hydrothermal coefficient of G.T. Selyaninov (HTC) calculated based on the data of meteorological stations No. 34123 “Voronezh”, No. 27930 “Lipetsk”, No. 34214 “Belgorod”, No. 34009 “Kursk”. The frequency of severe droughts ($\text{HTC}_{\text{m-s}}$ 0.3-0.6) at the named meteorological stations over the past 85 years (1940-2024) is from 3 to 6, moderate droughts ($\text{HTC}_{\text{m-s}}$ 0.6-0.8) – from 3 at the meteorological station “Kursk” to 14 at the meteorological station “Belgorod”. A strong contribution of precipitation amounts to the HTC for the period May–September values was revealed, the relationship is high ($r = 0.91$), the contribution of air temperatures is less, the relationship is significant ($r = 0.69$). The dynamics of the hydrothermal coefficient values for the period May–September shows a general decrease in the level of moisture supply in the Central

Forest-Steppe territory, especially in the last thirty years. A significant increase in average air temperatures is observed at all meteorological stations. The distribution of precipitation amounts by half-years showed a decrease in both the warm and cold periods at the meteorological stations "Belgorod" and "Lipetsk" and a slight increase in the cold period at the meteorological stations "Voronezh" and "Kursk". The average HTC values for the observation period at the named meteorological stations were: "Voronezh" – 1.06, "Lipetsk" – 1.07, "Belgorod" – 1.03, "Kursk" – 1.25. In the last thirty years: "Voronezh" – 1.03, "Lipetsk" – 0.96, "Belgorod" – 0.94, "Kursk" – 1.22.

The work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation grant No. 24-16-20047 "Population structure and intraspecific variability of dendrophenoypes of Scots pine and English oak as a basis for adaptive resistance to climate change and other external influences".

Keywords: weather stations, precipitation totals, drought, Selyaninov's hydrothermal coefficient, growing conditions for woody plants

Format of citation: Matveev S.M., Litovchenko D.A. Frequency and intensity of droughts and dynamics of the moisture regime in the Central forest-steppe // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 5. P. 136-145. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-5-136-145>

Введение. Закономерности климатического отклика лесообразующих древесных пород Центральной лесостепи (сосны обыкновенной и дуба черешчатого) выявляются по адаптивной реакции на повторяющиеся климатические события (засуха, высокие температуры). В свою очередь, анализ динамики климатических параметров за длительный период, сопоставимый с периодом жизни древесных растений, формирует необходимый базис для изучения закономерностей климатического отклика деревьев.

Лесистость Центральной лесостепи в настоящее время составляет 8-11% [1, 2] и далека от оптимальной (20-25%) [3]. Изменения климата, наблюдаемые в последние десятилетия, изменяют условия произрастания древесных растений. Значительные изменения климатических условий в региональном масштабе могут привести к сдвигам границ природных зон и, соответственно, границ лесосеменных районов для искусственного лесовосстановления и лесоразведения. Оценка динамики ключевых параметров климата за длительный период позволит уточнить границы лесосеменных районов, семенной материал которых подходит для лесовосстановления в Центральной лесостепи.

На динамику прироста древесных растений в течение периода вегетации в Центральной лесостепи влияют ключевые параметры климата: суммы атмосферных осадков и температуры воздуха, обуславливающие наступление либо влажных с благоприятным температурным режимом комфортных условий роста, либо засушливых с недостатком осадков и высокими температурами воздуха [4]. В свою очередь, режим климатических параметров обусловлен формой циркуляции атмосферы над территорией региона,

преобладанием циклонической либо антициклонической погоды [5].

Наблюдающее во второй половине XX в. и первой четверти XXI в. глобальное потепление выражается рядом взаимосвязанных циркуляционных процессов и динамикой ключевых климатических параметров: сумм атмосферных осадков и температур воздуха [6, 7].

Динамика температур воздуха в регионе показывает значительный растущий тренд, в большей степени – в холодный период года, на фоне внутрисезонной и внутримесячной амплитуды температур (так называемые «качели»), особенно в XXI в. [8, 9]. Суммы атмосферных осадков значительно возросли во второй половине XX в. Однако в XXI в. значительный рост не наблюдается, но есть изменения средних значений по месяцам года и учащение повторяемости длительных засушливых периодов в различные сезоны года [10, 11]. На территории Центральной лесостепи зимой отмечается увеличение числа суток с большим количеством осадков (> 10 мм), а летом – напротив, их уменьшение.

Цель исследований: анализ повторяемости и интенсивности засух и динамики ключевых метеорологических факторов (сумм атмосферных осадков и температур воздуха) в Центральной лесостепи (ЦЧР), определяющих условия произрастания древесных растений.

Материалы и методы исследований. Для исследований использованы данные рядов наблюдений метеостанций: № 34123 «Воронеж» ($51^{\circ}42'55''$ с.ш., $39^{\circ}12'57''$ в.д.), длительность ряда наблюдений – 152 года (1873-2024 гг.); № 27930 «Липецк» ($52^{\circ}70'45''$ с.ш., $39^{\circ}52'79''$ в.д.), длительность ряда наблюдений – 85 лет (1940-2024 гг.); № 34214

«Белгород» ($50^{\circ}63'57''$ с.ш., $36^{\circ}58'45''$ в.д.), длительность ряда наблюдений – 95 лет (1930-2024 гг.); № 34009 «Курск» ($51^{\circ}77'33''$ с.ш., $36^{\circ}17'36''$ в.д.), длительность ряда наблюдений – 128 лет (1897-2024 гг.) [12].

Одним из наиболее часто используемых количественных показателей климата, особенно режима увлажнения, является гидротермический коэффициент Селянинова, определяемый в период со среднесуточными температурами воздуха выше 10°C (с так называемыми активными температурами, ограничивающими период активной вегетации растений). Гидротермический коэффициент (ГТК) разработан Г.Т. Селяниновым для климатических условий России. Для календарных месяцев, когда в условиях Центральной лесостепи наблюдаются только положительные среднесуточные температуры воздуха (май-сентябрь), С.М. Матвеевым [13] предложен упрощенный вариант расчета ГТК_{м-с} (не по среднесуточным температурам, а через среднемесячные температуры) по следующей формуле:

$$\text{ГТК}_{\text{м-с}} = \frac{\sum P_{\text{м-с}}}{\sum \text{ср.т}^{\circ}\text{C}_{\text{м-с}} \times 3,06}, \quad (1)$$

где ГТК_{м-с} – ГТК за май-сентябрь; Р_{м-с} – сумма осадков за май-сентябрь; т°C_{м-с} – средняя температура воздуха за май-сентябрь.

Значения ГТК_{м-с} рассчитаны по четырем рассматриваемым метеостанциям за период мая-сентября. Значения ГТК_{м-с} выше 1 характеризуют условия нормального и избыточного увлажнения, ниже 1 – увлажнение недостаточное. Классификация зон увлажнения по ГТК_{м-с}: влажная – 1,6-1,3; слабо засушливая – 1,3-1,0;

засушливая – 1,0-0,7; очень засушливая – 0,7-0,4; сухая – <0,4 [14]. Колебания значений ГТК_{м-с} для зон неустойчивого увлажнения значительны и связаны с неравномерностью выпадения осадков.

Количественные характеристики связи ГТК за май-сентябрь с суммой атмосферных осадков и средних температур воздуха определены с помощью линейной корреляции Пирсона в пакете программ Microsoft Excel 2020:

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (2)$$

где x_i – значения переменных в выборке X; y_i – значения переменных в выборке Y; \bar{x} – среднее арифметическое в выборке X; \bar{y} – среднее арифметическое в выборке Y.

В соответствии со шкалой Чеддока [15] связь считается слабой от 0 до 30%, умеренной – от 31 до 50%, значительной – от 51 до 70%, высокой (тесной) – от 71 до 90%, очень высокой (очень тесной) – от 91% и больше. Для анализа связи между независимыми переменными (предикторами) и зависимой переменной применяли линейную регрессию.

При обработке метеоданных и полученных значений ГТК_{м-с} определили следующие статистические показатели: среднее арифметическое; ошибка средней арифметической; коэффициент вариации; показатель достоверности среднего значения признака [15]. Графики и диаграммы построены в пакете программ Microsoft Excel 2020.

Принято считать нормой среднее значение метеорологической величины за многолетний



Рис. 1. Карта-схема расположения метеостанций:
«Воронеж» № 34123 (1); «Липецк» № 27930 (2); «Белгород» № 34214 (3); «Курск» № 34009 (4)

Fig. 1. Map-scheme of the location of meteorological stations:
“Voronezh”, No. 34123 (1), “Lipetsk”, No. 27930 (2), “Belgorod” No. 34214 (3), “Kursk” No. 34009 (4)

период. Расчет климатических норм производится по 30-летним периодам; в настоящее время действует норма 1991-2020 гг.

Результаты и их обсуждение. Условия существования и продуктивность древесных растений в различных районах земного шара определяют режимы теплообеспеченности и увлажнения. В регионе Центральной лесостепи древесные растения страдают от периодически повторяющихся засух [16-18]. В вековой динамике засух в Центральной лесостепи хорошо прослеживаются циклы: 11-летний (солнечный или Швабе-Вольфа); магнитный (Хейла); Брикнера – имеющие важное прогностическое значение [19]. Периодичность (цикличность) повторения сильных, с катастрофическими последствиями засух, коррелирует с циклом Брикнера (средний интервал повторяемости – 33-35 лет) [20]. В XX-XXI столетиях это засухи 1938-1939, 1971-1972, 2008-2010 гг. Для оценки динамики режимов теплообеспеченности и увлажнения в Российской Федерации предпочитают использовать комплексный показатель – ГТК [13, 14, 21-23]. Расчитанное нами среднее значение ГТК_{м-с} за период 1873-2024 гг. по метеостанции «Воронеж» составило 1,06 при диапазоне его изменения от 0,42 (1891 г.) до 2,24 (1980 г.); среднеквадратическое отклонение $\sigma = 0,15$; коэффициент вариации Cv = 0,36. Коэффициент вариации превысил значение 0,33, что свидетельствует о большей вариативности рядов исходных значений (температура воздуха и сумм атмосферных осадков) на метеостанции «Воронеж».

Следует учесть, что по метеостанции «Воронеж» имеется самый длительный ряд наблюдений (с 1873 г.). Это, безусловно, увеличивает вариативность данных, однако прямая зависимость коэффициента вариации от длительности ряда

по данным других метеостанций региона не прослеживается. Среднее значение ГТК_{м-с} за период 1940-2024 гг. по метеостанции «Липецк» составило 1,07 при диапазоне его изменения от 0,38 (2010 г.) до 2,09 (1980 г.); среднеквадратическое отклонение $\sigma = 0,11$ (данные лежат очень близко к средней); коэффициент вариации Cv = 0,28. Среднее значение ГТК_{м-с} по метеостанции «Белгород» за 1930-2024 гг. составило 1,03 при варьировании от 0,26 (2024 г.) до 2,11 (1978 г.); среднеквадратическое отклонение $\sigma = 0,11$ (данные лежат очень близко к средней); коэффициент вариации Cv = 0,31. Среднее значение ГТК_{м-с} по метеостанции «Курск» за 1897-2024 гг. составило 1,25 при диапазоне от 0,39 (1938 г.) до 2,12 (1933 г.); среднеквадратическое отклонение $\sigma = 0,17$; коэффициент вариации Cv = 0,25; колебания вариационного ряда относительно средней невелики, что свидетельствует об однородной совокупности данных (Cv < 0,33). Среднее значение ГТК за период мая-сентября по метеостанции «Курск» выше, чем по другим исследуемым метеостанциям, однако остается в зоне увлажнения от 1 до 1,3 (слабо засушливая).

Для проведения сравнительного анализа за одинаковый временной интервал возьмем данные по минимальному ряду («Липецк»), то есть с 1940 по 2024 гг. (табл. 1).

Как следует из данных таблицы 1, значений ГТК за период мая-сентября свыше 1,3 по метеостанции «Курск» больше, чем на других метеостанциях (34), что является следствием особенностей циркуляции атмосферы, рельефа местности и расположения Курской области в северо-западной части Центральной лесостепи. В других областях Центральной лесостепи снижается влияние атлантических циклонов [24]. Значение ГТК_{м-с} <0,3 наблюдалось только

Таблица 1. Повторяемость (количество лет) значений ГТК за период май-сентябрь различных диапазонов увлажнения-засушливости с 1940 по 2024 гг. по данным метеостанций «Воронеж», «Липецк», «Белгород», «Курск»

Table 1. Frequency (number of years) of the HTC for the period of May-September values for different humidification-aridity ranges from 1940 to 2024 according to the data of the meteorological stations “Voronezh”, “Lipetsk”, “Belgorod”, “Kursk”

Диапазоны ГТК HTC ranges	Интенсивность засухи Drought intensity	Количество лет по диапазонам для метеостанций Number of years by ranges for weather stations			
		«Воронеж» «Voronezh»	«Липецк» «Lipetsk»	«Белгород» «Belgorod»	«Курск» «Kursk»
> 1,3	–	20	20	18	34
1,0-1,3	–	24	30	28	28
0,8-1,0	Слабая / weak	24	19	19	17
0,6-0,8	Умеренная / moderate	13	10	14	3
0,3-0,6	Сильная / strong	4	6	5	3
< 0,3	Экстремальная / extreme	–	–	1	–

на метеостанции «Белгород» в 2024 г. По метеостанции «Воронеж» отметили равное количество лет для двух диапазонов: 1,0-1,3 и 0,8-1,0. Значения ГТК по метеостанции «Липецк» в отдельные, наиболее засушливые годы (1972, 1977, 1984, 2002, 2010, 2018 гг.) [12], показывают более глубокие минимумы относительно значений других метеостанций. Значения ГТК_{м-с} по метеостанции «Воронеж», и особенно по метеостанции «Курск», показывают наибольшую вариативность. По метеостанции «Курск» наблюдаются и более высокие значения. Годы экстремальных значений ГТК за май-сентябрь по четырем метеостанциям совпадают далеко не всегда (рис. 2).

Для выявления вклада колебаний значений осадков и температур теплого периода

в динамику комплексного показателя ГТК_{м-с} проведен попарный корреляционный анализ значений названных параметров на примере наиболее длительного ряда (152 года) метеостанции «Воронеж». Выявлен сильный вклад сумм осадков вегетационного периода в значения ГТК_{м-с}, связь характеризуется как очень высокая: $r = 0,91$ (рис. 3). Вариативность значений сумм атмосферных осадков сравнительно слабая, с редкими значительными отклонениями (от 263 до 824 мм) [12]. Вклад в изменения значений ГТК_{м-с} температур воздуха меньше, чем осадков, однако связь характеризуется как значительная $r = 0,69$, причем вариативность значений температур заметно больше (от 2,6 до 9°C) [12].

Сравнительный анализ средних значений ГТК за период мая-сентября, сумм атмосферных осадков за год и среднегодовых температур воздуха по 30-летним климатическим периодам для четырех метеостанций Центральной лесостепи представлен в таблице 2. Для оценки и наглядного представления направления многолетних изменений засухливости и увлажненности [11, 25] на исследуемых метеостанциях на рисунке 4 представлены тренды (полиномиальный и линейный) ГТК_{м-с} за 85 лет (период наблюдений, имеющийся по всем метеостанциям).

Динамика значений ГТК_{м-с} по метеостанции «Воронеж» менялась за 85 лет наблюдений циклически, с практически ровным линейным трендом (рис. 4, табл. 2), линейные тренды значений ГТК_{м-с} по данным трех других метеостанций показывают снижение уровня влагообеспеченности территории Центральной лесостепи.

С 1873 по 1961 гг. наблюдалось снижение сумм атмосферных осадков по метеостанции

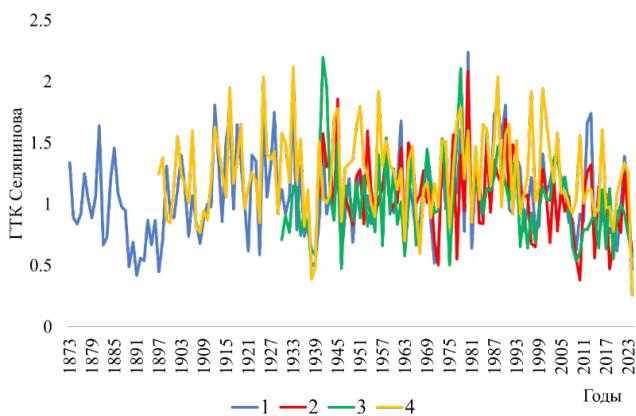


Рис. 2. Динамика ГТК Селянинова по данным метеостанций «Воронеж» (1), «Липецк» (2), «Белгород» (3), «Курск» (4)

Fig. 2. Dynamics of the Selyaninov HTC according to the data from the meteorological stations “Voronezh” (1), “Lipetsk” (2); “Belgorod” (3); “Kursk” (4)

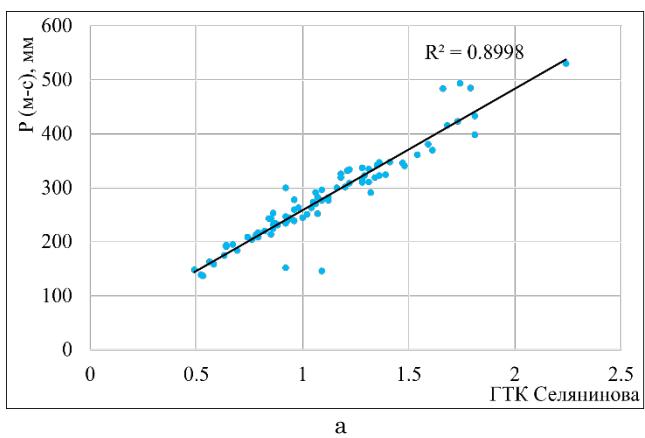


Рис. 3. Доля влияния сумм атмосферных осадков за вегетационный период (а) и средней температуры воздуха (б) на изменения значений ГТК Селянинова за май-сентябрь по метеостанции «Воронеж»

Fig. 3. The share of influence of the total amount of atmospheric precipitation during the growing season (a) and the average air temperature (b) in the change in the values of the Selyaninov hydrothermal coefficient for the period May-September at the Voronezh weather station

«Воронеж», а с 1961 по 2020 гг. – значительный рост (на 100 мм). В результате с 1873 по 2020 гг. произошло увеличение сумм атмосферных осадков, что в комплексе с ростом температур теплого периода могло привести к некоторой оптимизации гидротермического режима (растущий тренд ГТК_{M-c}) в отношении благоприятствования росту древесных растений. Однако в последнем 30-летнем климатическом периоде наблюдается значительное снижение значений ГТК_{M-c} (рис. 4, табл. 2), то есть ухудшение условий роста древесных растений.

На трех других метеостанциях с более короткими рядами наблюдений сглаженные колебания сумм атмосферных осадков имеют меньшую амплитуду, а линейные тренды значений ГТК_{M-c} снижаются, и особенно

интенсивно – в последнем 30-летнем периоде. Наиболее высокие средние значения ГТК_{M-c} наблюдаются на метеостанции «Курск». Разнонаправленные тренды температур воздуха, и особенно сумм атмосферных осадков, на различных метеостанциях наблюдаются и в других регионах мира [26, 27].

При исследовании закономерностей динамики увлажнения, по данным наблюдений сумм атмосферных осадков за год на метеостанциях «Воронеж» и «Липецк» [12], можно выделить глубокие совпадающие минимумы в 1949, 1984, 1991, 2008-2009, 2014 гг.

В XXI в. на метеостанции «Липецк» наблюдаются наиболее глубокие минимумы сумм атмосферных осадков – глубже, чем на метеостанции «Воронеж». В настоящее время климатическая норма сумм атмосферных осадков за год для г. Воронежа составляет 583 мм, для г. Липецка – 491 мм. Максимальное количество осадков на метеостанции «Воронеж» отмечено в 2012 г. (874 мм), минимальное – в 1891 г. (263 мм). В последнее десятилетие (с 2012 по 2022 гг.) наблюдается максимальная амплитуда колебаний годовых сумм атмосферных осадков. При этом 2014 г. был одним из самых засушливых, а 2012 и 2023 гг. – самыми увлажненными за весь период наблюдений.

Значения годовых сумм атмосферных осадков по расположенным западнее метеостанциям «Белгород» и «Курск» (рис. 1) показывают сходную амплитуду колебаний. Суммы атмосферных осадков за год по метеостанции «Белгород» заметно ниже, чем по метеостанции «Курск». Наиболее глубокие минимумы по метеостанции «Белгород» отмечены в 1946 г. (316 мм), в 1975 г. – 333 мм, 2008 г. – 388 мм. Наибольший

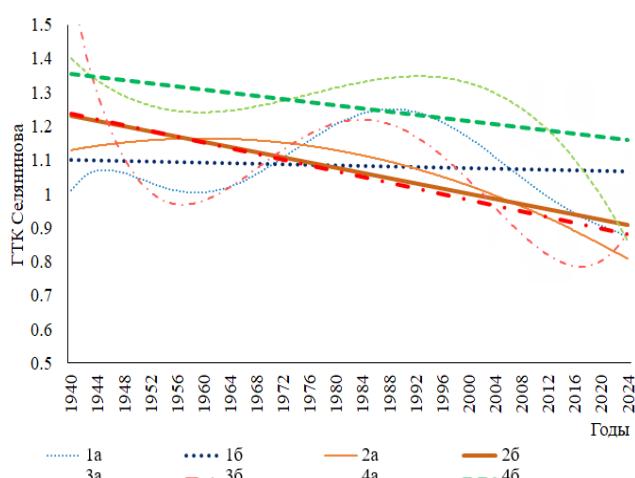


Рис. 4. Полиномиальная (а) и линейная (б) линии тренда ГТК

Fig. 4. Polynomial (a) and linear (b) trend lines of the HTC for meteorological stations: “Voronezh” (1), “Belgorod” (2), “Lipetsk” (3), “Kursk” (4)

Таблица 2. Средние значения по 30-летним климатическим периодам (норма) сумм атмосферных осадков за год (P, мм), среднегодовых температур воздуха (t, °C) и ГТК Селянинова за период май-сентябрь по исследуемым метеостанциям

Table 2. Average values for 30-year climatic periods (norm) of annual precipitation amounts (P, mm), average annual air temperatures (t, °C) and Selyaninov hydrothermal coefficient for the period of May-September at the studied meteorological stations

Метеостанция Meteorological stations	«Воронеж» “Voronezh”			«Липецк» “Lipetsk”			«Белгород» “Belgorod”			«Курск» “Kursk”			
	Показатели Indicators	P, Мм	t, °C	ГТК	P, мм	t, °C	ГТК	P, мм	t, °C	ГТК	P, мм	t, °C	ГТК
Интервал Interval													
1873-1900	515	5,5	0,91	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1901-1930	508	5,3	1,16	–	–	–	–	–	–	–	624	5,3	1,27
1931-1960	480	5,5	1,02	569	4,8	1,15	548	6,1	1,05	648	5,5	1,28	
1961-1990	580	6,1	1,18	545	5,0	1,15	582	6,4	1,15	616	5,7	1,27	
1991-2020	583	7,5	1,03	491	6,3	0,96	529	7,7	0,94	632	7,1	1,22	

максимум выпавших атмосферных осадков выявлен в 2016 г. по метеостанции «Курск» – 965 мм.

Анализ динамики минимумов атмосферных осадков относительно нормы 1991-2020 гг. за весь период наблюдения (1873-2024 гг.) по метеостанции «Воронеж» выявил аномальные значения выпавших осадков в отдельные годы и месяцы. Разница в отдельные месяцы составляет от 8 раз в июне 1960 г. (7 мм) относительно нормы (61 мм) до 390 раз в феврале 1931 г. (0,1 мм) относительно нормы (39 мм). В 2024 г. наблюдалось минимальное количество выпавших осадков в отдельные месяцы: март – 3 мм относительно нормы 38 мм; сентябрь – 0 мм относительно нормы 51 мм [12].

В условиях наблюдающихся изменений климата изменяются не только количественные характеристики режима увлажнения (суммы атмосферных осадков), но и их распределение в течение года. Результаты осредненных сумм атмосферных осадков за два 30-летних климатических периода, в теплый и холодный периоды, оценены по t-критерию Стьюдента ($t_{st} = 2,0$) для выявления значимых различий между периодами (табл. 3). Жирным шрифтом выделены статистически значимые значения по t-критерию Стьюдента ($P < 0,05$).

Как следует из данных таблицы 3, за два климатических периода (1961-1990 гг.

и 1991-2020 гг.) по метеостанции «Воронеж» наблюдаются снижение средних значений сумм атмосферных осадков теплого периода и рост холодного (меньший, чем снижение теплого, на 10 мм). По метеостанции «Липецк» также наблюдается снижение осадков теплого периода, но и статистически значимое снижение осадков холодного периода (на 38 мм). По метеостанции «Белгород» аналогичная метеостанции «Липецк» тенденция статистически значима для снижения осадков теплого периода (на 46 мм). По метеостанции «Курск» средние суммы осадков теплого периода практически не изменились, а холодного периода – выросли (статистически незначимо, на 16 мм).

В последнем 30-летнем периоде (1991-2020 гг.) в Центральной лесостепи увеличились амплитуды колебаний среднемесячных и среднегодовых значений ключевых характеристик климата (температура воздуха и сумм атмосферных осадков) на фоне общего повышения значений температур воздуха (особенно января-марта и летних месяцев [12]). Поскольку суммы атмосферных осадков за тот же период показали неравномерное перераспределение по теплому и холодному периодам без общего повышения, наблюдаются учащение засух и повышение их интенсивности.

Таблица 3. Средние значения сумм атмосферных осадков (Р, мм) тёплого и холодного периодов за два тридцатилетних климатических периода с оценкой значимости различий на 5%-ном уровне

Table 3. Average values of precipitation amounts (P, mm) of warm and cold periods for two thirty-year climatic periods with an assessment of the significance of differences at the 5% level

Метеостанция <i>Meteorological stations</i>	(1961-1990 гг.) / (1991-2020 гг.) (1961-1990) / (1991-2020)		Знач. t-критерия на 5%-м уровне <i>t-test values at 5% level</i>	
	Теплый период <i>Warm period</i>	Холодный период <i>Cold period</i>	Теплый период <i>Warm period</i>	Холодный период <i>Cold period</i>
«Воронеж» / Voronezh	336,6 / 310,1	246,3 / 261,6	1,23	0,94
«Липецк» / Lipetsk	315,9 / 282,8	237,1 / 198,7	1,79	3,01
«Белгород» / Belgorod	330,8 / 284,0	255,0 / 238,6	2,64	0,94
«Курск» / Kursk	349,4 / 349,8	266,6 / 282,8	0,02	0,80

Выводы

Самая увлажненная в Центральной лесостепи – метеостанция «Курск» в 1991-2020 гг. (норма сумм атмосферных осадков составляет 632 мм, ГТК за период май-сентябрь – 1,22), наиболее засушливые – «Липецк» (норма сумм атмосферных осадков составляет 491 мм, ГТК_{м-с} – 0,96) и «Белгород» (норма сумм атмосферных осадков – 529 мм, ГТК_{м-с} – 0,94) (табл. 2).

По метеостанции «Воронеж» норма сумм атмосферных осадков составляет 583 мм,

ГТК_{м-с} – 1,03. Повторяемость сильных засух (ГТК_{м-с} 0,3-0,6) по названным метеостанциям за последние 85 лет (1940-2024) составляет от 3 до 6, умеренных (ГТК_{м-с} 0,6-0,8) – от 3 по метеостанции «Курск» до 14 по метеостанции «Белгород».

Динамика значений ГТК за май-сентябрь показывает общее снижение уровня благообеспеченности территории Центральной лесостепи, особенно в последнем тридцатилетии. По всем метеостанциям наблюдается значительный рост средних температур воздуха в XX и XI вв. Вклад

значений осадков в ГТК_{м-с} больше (0,91), чем температур (0,69), при этом значения температур показывают большую вариативность. Распределение сумм атмосферных осадков теплого и холодного периодов за два 30-летних климатических периода (1961-1990 гг.)/(1991-2020 гг.) показывает разнонаправленные тренды: по метеостанциям «Белгород» и «Липецк» наблюдается снижение и в теплом, и в холодном периодах,

Список использованных источников

1. Мусиевский А.Л. Динамика лесистости и структуры лесного фонда Воронежской области // Лесотехнический журнал, 2013. Т. 3. С. 13-21. DOI: 10.12737/1767
2. Аничкина Н.В. Состояние лесов Липецкой области как результат взаимодействия природы и человека // Успехи современного естествознания, 2015. № 12. С. 64-67; URL: <http://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=35724> (дата обращения: 14.08.2025).
3. Лозовой А.Д. Лесистость и ее оптимальность для условий Центрального Черноземья // Материалы Всероссийской научно-технической конференции, «Динамика лесистости в малолесных районах Европейской части России. Проблемы и перспективы». Воронеж: ВГЛТУ, 2003. С. 9-12.
4. Костебелова С.А. Изменение климата за последние 50 лет в Воронежской области / С.А. Костебелова, А.А. Махонченко // Материалы международной научно-практической конференции «Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы». Воронеж: Изд-во «Цифровая полиграфия», 2019. С. 20-24. EDN: ATHDYC
5. Дмитриева В.А. Термический режим г. Воронежа на фоне глобального потепления климат // Вестник ВГУ, серия География и Геоэкология, 2001. № 1. С. 129-135. EDN: SLHPRB
6. Черенкова Е.А. Региональные особенности засух на юге европейской территории России и их связь с изменениями атмосферной циркуляции // Международная научно-практическая конференция «Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы». Воронеж: Изд-во «Цифровая полиграфия», 2019. С. 65-72.
7. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. 2022. Общее резюме. СПб: Наукомкие технологии. 124 с.
8. Переведенцев Ю.П. Современные изменения климата и их последствия // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География и геоэкология, 2019. № 2. С. 98-102. EDN: NMCTYA
9. Дмитриева В.А. Региональная пространственно-временная изменчивость годовой и сезонной температуры воздуха // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология, 2024. № 1. С. 97-104. DOI: 10.17308/geo/1609-0683/2024/1/97-104.
10. Уtkузова Д.Н. Статистический анализ эпизодов экстремальной засушливости и увлажненности на территории РФ / Д.Н. Уtkузова, В.М. Хан, Р.М. Вильфанд // Оптика атмосферы и океана, 2015. Т. 28. № 1. С. 66-75. EDN: TEDBBL
11. Золотокрылин А.Н. Аридизация засушливых земель Европейской части России и связь с засухами / А.Н. Золотокрылин, Е.А. Черенкова, Т.Б. Титкова // Известия РАН. Сер. Геогр., 2020. Т. 84. № 2. С. 207-217. DOI: 10.31857/S258755662002017X, EDN: SFCKUS
12. Matveev S.M., Litovchenko D.A. Frequency and intensity of droughts and dynamics of the moisture regime in the Central forest-steppe
13. по метеостанциям «Воронеж» и «Курск» – небольшой рост в холодном периоде.
14. В целом в Центральной лесостепи условия увлажнения теплого периода, лимитирующие рост древесных растений в регионе, показывают тенденцию снижения на фоне повышения среднегодовых температур воздуха, что неблагоприятно сказывается на росте древесных растений.

References

1. Musievsky A.L. Dynamics of forest cover and structure of the forest fund of the Voronezh region // Forestry Engineering journal, 2013. Vol. 3. P. 13-21. DOI: 10.12737/1767
2. Anichkina N.V. State of forests of the Lipetsk region as a result of interaction between nature and man // Advances in modern natural science, 2015. No. 12. P. 64-67; URL: <http://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=35724> (date of access: 14.08.2025).
3. Lozovoy A.D. Forest cover and its optimality for the conditions of the Central Black Earth Region // Proceedings of the All-Russian scientific and technical conference, "Dynamics of forest cover in sparsely forested areas of the European part of Russia. Problems and prospects". Voronezh: VGTU, 2003. P. 9-12.
4. Kostebelova S.A. Climate change over the past 50 years in the Voronezh region / S.A. Kostebelova, A.A. Makhonchenko // Proceedings of the international scientific and practical conference "Global climate change: regional effects, models, forecasts". Voronezh, 2019. P. 20-24. EDN: ATHDYC
5. Dmitrieva V.A. Thermal regime of Voronezh against the background of global warming. VSU Bulletin, Geography and Geocology series, 2001. No. 1. P. 129-135. EDN: SLHPRB
6. Cherenkova E.A. Regional features of droughts in the south of European Russia and their relationship with changes in atmospheric circulation. International scientific and practical conference "Global climate change: regional effects, models, forecasts". Voronezh, 2019. P. 65-72.
7. The Third Assessment Report on Climate Change and Its Consequences in the Russian Federation. 2022. General Summary. Saint Petersburg: Science-Intensive Technologies. 124 p.
8. Perevedentsev Yu.P. Modern Climate Change and Its Consequences. Voronezh State University Bulletin. Series: Geography and Geocology, 2019. No. 2. P. 98-102. EDN: NMCTYA
9. Dmitrieva V.A. Regional Spatio-Temporal Variability of Annual and Seasonal Air Temperature. Voronezh State University Bulletin. Series: Geography. Geocology, 2024. No. 1. P. 97-104. DOI: 10.17308/geo/1609-0683/2024/1/97-104.
10. Utkuzova D.N. Statistical analysis of episodes of extreme drought and humidity in the territory of the Russian Federation / D.N. Utkuzova, V.M. Khan, R.M. Vilfand // Optics of the atmosphere and ocean, 2015. Vol. 28. No. 1. P. 66-75. EDN: TEDBBL
11. Zolotokrylin A.N. Aridization of arid lands of the European part of Russia and the relationship with droughts / A.N. Zolotokrylin, E.A. Cherenkova, T.B. Titkova // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Series: Geogr., 2020. Vol. 84. No. 2. P. 207-217. EDN: QKMMQN
12. Weather and climate. Official website. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/>. Date of access: 14.08.2025.

12. Погода и климат. Официальный сайт. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/>. Дата обращения: 14.08.2025.
13. Матвеев С.М. Дендроиндикация динамики состояния сосновых насаждений Центральной лесостепи. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2003. 272 с. EDN: QKMMQN
14. Страшная А.И. Агрометеорологические особенности засухи 2010 года в России по сравнению с засухами прошлых лет / А.И. Страшная, Т.А. Максименкова, О.В. Чуб // Труды Гидрометцентра России, 2011. Вып. 345. С. 194-214.
15. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки: учебник. М.: Колос, 2011. 547 с.
16. Акимов Л.М. Пространственно-временные закономерности атмосферных засух на территории Воронежской области в вегетационный период // Аридные экосистемы, 2013. Т. 19. № 2 (55). С. 15-20. EDN: RABHLN
17. Матвеев С.М. Динамика ключевых характеристик климата Воронежской области с 1961 по 2018 гг. и её отражение в приросте древостоя сосны обыкновенной / С.М. Матвеев, Д.А. Тимашук // В сборнике: Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы. Материалы международной научно-практической конференции. Под общей редакцией С.А. Куролапа, Л.М. Акимова, В.А. Дмитриевой. Воронеж: Изд-во «Цифровая полиграфия», 2019. С. 90-93. EDN: CHAEHL
18. Матвеев С.М. Особенности реакции на климатические условия радиального прироста деревьев сосны обыкновенной 100-140-летнего возраста (Воронежский биосферный заповедник) / С.М. Матвеев, Д.А. Литовченко // В сборнике: Лесные экосистемы как глобальный ресурс биосферы: вызовы, угрозы, решения в контексте изменения климата. Материалы Международного лесного форума. Отв. редактор Н.В. Яковенко. Воронеж: Изд-во ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, 2022. С. 64-74. EDN: CHAEHL
19. Кулик К.Н. Катастрофические засухи в степной Европейской части России, их дендрохронологическая индикация и связь с цикличностью солнечной активности / К.Н. Кулик, А.Т. Барабанов, В.И. Панов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2016. Т. 18. № 2(2). С. 438-443.
20. Матвеев С.М. Дендроклиматический анализ 200-летнего древостоя сосны обыкновенной в Воронежском биосферном заповеднике / С.М. Матвеев, Д.А. Тимашук // Лесоведение, 2019. № 2. С. 93-104. DOI: 10.1134/S0024114819020074, EDN: VUFBCG
21. Селянинов Г.Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата. В кн.: Мировой агроклиматический справочник: Л:-М:1937. 428 с.
22. Таранков В.И. Влияние климатических и антропогенных факторов на состояние и продуктивность сосновых насаждений зеленой зоны г. Воронежа. Сосновые леса России в системе многоцелевого лесопользования: Тез. Всеросс. Конф. Воронеж, 1993. С. 94-96.
23. Мещерская А.В. Засуха 2010 г. на фоне многолетнего изменения засушливости в основных зерносеющих районах европейской части России / А.В. Мещерская, В.М. Мирвис, М.П. Голод // Тр. ГГО. Вып, 2011. 563. 318 с. EDN: PGOTWD
24. Акимов Л.М. Современные изменения агроклиматического потенциала Центрально-Черноземного района / Л.М. Акимов, Е.Л. Акимов // Метеорология и гидрология, 2023. № 10. С. 25-36. EDN: OWJUNO
25. Dong T., Liu J., Liu D.H., He P.X., Li Z., Shi M.J., Xu J. Characteristics of the Spatiotemporal Variability of Climate Extremes in Xinjiang during 1960-2019. Environ. Sci. Pollut. R, 2023. 30. 57316-57330. DOI: 10.1007/s11356-023-26514-3
13. Matveev S.M. Dendroindication of the dynamics of the state of pine stands in the Central forest-steppe. Voronezh: VSU Publishing House, 2003. 272 p. EDN: QKMMQN
14. Strashnaya A.I. Agrometeorological features of the 2010 drought in Russia compared to droughts of past years / A.I. Strashnaya, T.A. Maksimenkova, O.V. Chub // Proceedings of the Hydrometeorological Center of Russia, 2011. Issue. 345. P. 194-214.
15. Dospekhov B.A. Methodology of field experiment with the basics of statistical processing: tutorial. Moscow: "Kolos", 2011. 547 p.
16. Akimov L.M. Spatio-temporal patterns of atmospheric droughts in the Voronezh region during the growing season. Arid ecosystems, 2013. Vol. 19. No. 2 (55). P. 15-20. EDN: RABHLN
17. Matveev S.M. Dynamics of key climate characteristics of the Voronezh region from 1961 to 2018. and its reflection in the growth of Scots pine stands / S.M. Matveev, D.A. Timashchuk // In the collection: Global climate change: regional effects, models, forecasts. Proceedings of the international scientific and practical conference. Under the general editorship of S.A. Kurolap, L.M. Akimova, V.A. Dmitrieva, 2019. P. 90-93. EDN: CHAEHL
18. Matveev S.M. Features of the reaction to climatic conditions of the radial growth of 100-140-year-old Scots pine trees (Voronezh Biosphere Reserve) / S.M. Matveev, D.A. Litovchenko // In the collection: Forest ecosystems as a global resource of the biosphere: challenges, threats, solutions in the context of climate change. Proceedings of the International Forestry Forum. Responsible. editor N.V. Yakovenko. Voronezh, 2022. P. 64-74. EDN: CHAEHL
19. Kulik K.N. Catastrophic droughts in the steppe European part of Russia, their dendrochronological indication and connection with the cyclicity of solar activity / K.N. Kulik, A.T. Barabanov, V.I. Panov // Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2016. Vol. 18. No. 2(2). P. 438-443. VUFBCG
20. Matveev S.M. Dendroclimatic analysis of a 200-year-old Scots pine stand in the Voronezh Biosphere Reserve / S.M. Matveev, D.A. Timashchuk // Lesovedenie, 2019. No. 2. P. 93-104 DOI: 10.1134/S0024114819020074 EDN: VUFBCG
21. Selyaninov G.T. Methodology of agricultural climate characteristics. In the book: World agroclimatic reference: L. M, 1937. 428 p.
22. Tarankov V.I. Influence of climatic and anthropogenic factors on the condition and productivity of pine plantations in the green zone of Voronezh. Pine forests of Russia in the system of multi-purpose forest management: Abstracts of the All-Russian Conf. Voronezh, 1993. P. 94-96. EDN: PGOTWD
23. Meshcherskaya A.V. The 2010 Drought Against the Background of Long-Term Changes in Aridity in the Main Grain-Growing Regions of European Russia / A.V. Meshcherskaya, V.M. Mirvis, M.P. Golod // Tr. GGO. Issue, 2011. 563. 318 p. EDN: PGOTWD
24. Akimov L.M. Modern changes in the agroclimatic potential of the Central Black Earth region / L.M. Akimov, E.L. Akimov // Meteorology and Hydrology, 2023. No. 10. P. 25-36. EDN: OWJUNO
25. Dong T., Liu J., Liu D.H., He P.X., Li Z., Shi M.J., Xu J. Characteristics of the Spatiotemporal Variability of Climate Extremes in Xinjiang during 1960-2019. Environ. Sci. Pollut. R, 2023. 30. 57316-57330. DOI: 10.1007/s11356-023-26514-3

Environ. Sci. Pollut. R., 2023. 30. 57316-57330. DOI: 10.1007/s11356-023-26514-3

26. Wang C.X., Chen C., Zhang S.Q., Ma Z.F., Pang Y.M. Variation characteristics of extreme climate events in Southwest China from 1961 to 2017. Heliyon, 2023. 9. e19648. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e19648

27. Du H.B., Donat M.G., Zong S.W., Alexander L.V., Manzanas R., Kruger A., Choi G., Salinger J., He H.S., Li M.H., et al. Extreme Precipitation on Consecutive Days Occurs More Often in a Warming Climate. Bull. Am. Meteorol. Soc., 2022. 103. E1130-E1145

26. Wang C.X., Chen C., Zhang S.Q., Ma Z.F., Pang Y.M. Variation characteristics of extreme climate events in Southwest China from 1961 to 2017. Heliyon, 2023. 9. e19648. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e19648

27. Du H.B., Donat M.G., Zong S.W., Alexander L.V., Manzanas R., Kruger A., Choi G., Salinger J., He H.S., Li M.H., et al. Extreme Precipitation on Consecutive Days Occurs More Often in a Warming Climate. Bull. Am. Meteorol. Soc., 2022. 103. E1130-E1145

Об авторах

Сергей Михайлович Матвеев, профессор, д-р биолог. наук, заведующий кафедрой, ORCID: 0000-0001-8532-1484; Scopus: 57191472414; РИНЦ ID: 133854; WOS Research ID: Q-5614-2016; lisovod@bk.ru

Дарья Андреевна Литовченко, канд. биолог. наук, доцент, ORCID: 0000-0003-2973-7447; Scopus: 57192711518; РИНЦ ID: 745766; WOS Research ID: T-9721-2019; timashchuk90@mail.ru

Критерии авторства / Authorship criteria

Матвеев С.М., Литовченко Д.А. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Матвеев С.М., Литовченко Д.А. имеют на статью авторское право и несут ответственность за plagiat.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interests

Вклад авторов / Contribution of the authors

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 18.06.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 17.09.2025

Принята к публикации после доработки / Accepted for publication 04.10.2025

About the authors

Sergey M. Matveev, DScs (Bio), professor, head of department, ORCID: 0000-0001-8532-1484; Scopus: 57191472414; RSCI ID: 133854; WOS Research ID: Q-5614-2016; lisovod@bk.ru

Darya A. Litovchenko, CSs (Bio), associate professor, ORCID: 0000-0003-2973-7447; Scopus: 57192711518; RSCI ID: 745766; WOS Research ID: T-9721-2019; timashchuk90@mail.ru

Matveev S.M., Litovchenko D.A. performed practical and theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. Matveev S.M., Litovchenko D.A. have a copyright for the article and are responsible for plagiarism.