

## ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРНЫХ И ВЛАЖНОСТНЫХ ФАКТОРОВ ПРОДУКТИВНОСТИ, РОСТА И РАЗВИТИЯ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР ПО ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РФ

О. В. Кононенко

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»,  
г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14, E-mail: okveda@mail.ru

Поступила в редакцию 04 октября 2021 г., принята к печати 29 ноября 2021 г.

Исследование динамики температурных и влажностных факторов продуктивности, роста и развития полевых культур проводилось за период с 1961 по 2020 гг. (60 лет) для 27 реперных метеостанций штатной метеорологической сети, расположенных в регионах с наиболее развитым сельскохозяйственным растениеводством. Анализ статистической структуры и зонального распределения температурных и влажностных факторов продуктивности, роста и развития полевых культур проведен для июня и июля. На указанные месяцы чаще всего приходится такие критические фазы онтогенеза, как цветение, налив зерна и созревание основных сельскохозяйственных культур. В результате исследования установлено, что за период 1991–2020 гг. в июне и июле наблюдалось значительное повышение средних и максимальных суточных температур. Наибольший рост среднемесячной температуры в июне (в пределах 0,9–1,3 °С) отмечен на метеостанциях Астрахань, Брянск, Волгоград, Воронеж, Казань, Краснодар, Курск, Кызыл и Пенза. В июле на большинстве метеостанций средняя температура повысилась более чем на 1 °С. На метеостанциях Брянск, Великие Луки, Воронеж, Краснодар, Курск и Кызыл среднемесячная температура повысилась более чем на 1,5 °С. На метеостанциях Астрахань, Волгоград, Краснодар, Кызыл, Пенза и Саратов средние максимальные суточные температуры воздуха в июне за последние 30 лет повысились более чем на 1 °С. В июле повышение более чем на 1,5 °С отмечено на метеостанциях Брянск, Воронеж, Краснодар, Курск, Кызыл, Пенза, Рязань и Тамбов. Изменения месячного количества осадков за последние 30 лет носят разнонаправленный характер. Незначительное увеличение количества осадков в июне зафиксировано в Костроме, Нижнем Новгороде, Рубцовске и Тамбове, в июле – в Астрахани, Бийске, Краснодаре и Кызыле. Уменьшение количества осадков в июле отмечено на станциях Волгоград (22%), Воронеж (20%), Казань (11%), Кострома (11%), Тамбов (31%), Троицк (24%) и Уфа (20%). Поскольку речь идёт об отклонениях среднего за 30-летний период от стандартной климатической нормы, произошедшие изменения весьма существенны и в сочетании со значительным увеличением количества дней с максимальными температурами воздуха в 30–35 °С могут оказывать серьезное негативное воздействие на урожайность сельскохозяйственных культур.

**Ключевые слова:** факторы продуктивности, фазы онтогенеза, климатическая норма, максимальная суточная температура воздуха, осадки.

## ASSESSMENT OF THE DYNAMICS OF CHANGES IN TEMPERATURE AND HUMIDITY FACTORS OF PRODUCTIVITY, GROWTH AND DEVELOPMENT OF CROPS OVER THE AGRICULTURAL TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION

O. V. Kononenko

Agrophysical Research Institute  
14, Crazhdanskiy pr., Saint-Petersburg, E-mail: okveda@mail.ru

The study was carried out for the period from 1961 to 2020 (60 years) for 27 reference meteorological stations of the state meteorological network located in the regions with the most developed agricultural crop production. The analysis of the statistical structure and zonal distribution of temperature and humidity factors of productivity, growth and development of crops was carried out for June and July. These months most often coincide with such critical phases of ontogenesis as flowering, grain filling and maturation for the main agricultural crops. As a result of the study, it was found that there was a significant increase in the average and maximum daily temperatures in June and July for the period 1991–2020. The greatest increase in the average monthly temperature in June (within 0.9–1.3 °C) was noted at the meteorological stations Astrakhan, Bryansk, Volgograd, Voronezh, Kazan, Krasnodar, Kursk, Kyzyl and Penza. In July, the average temperature increased by more than 1 °C at most of the meteorological stations. The average monthly temperature increased by more than 1.5 °C at the meteorological stations Bryansk, Velikiye Luki, Voronezh, Krasnodar, Kursk and Kyzyl. The average maximum daily air temperatures in June over the past thirty years have increased by more than 1 °C at the meteorological stations Astrakhan, Volgograd, Krasnodar, Kyzyl, Penza and Saratov. An increase in the average maximum daily air by more than 1.5 °C in July was noted at meteorological stations Bryansk, Voronezh, Krasnodar, Kursk, Kyzyl, Penza, Ryazan and Tambov. Changes in monthly precipitation over the past thirty years were multidirectional. A slight increase in the precipitation amount in June was noted in Kostroma, Nizhniy Novgorod, Rubtsovsk and Tambov, in July – in Astrakhan, Biysk, Krasnodar and Kyzyl. A decrease in the precipitation amount in July was noted at stations Volgograd (22%), Voronezh (20%), Kazan (11%), Kostroma (11%), Tambov (31%), Troitsk (24%) and Ufa (20%). Since the deviations of the 30-year average from the standard climatic norm is being described, the changes that have occurred can be very significant. In combination with a significant increase in the number of days with maximum air temperatures of 30–35 °C, these changes can have a serious negative impact on crop yields.

**Keywords:** productivity factors, phases of ontogenesis, climatic norm, maximum daily air temperature, precipitation.

## ВВЕДЕНИЕ

В применяемых в сельскохозяйственном производстве климатических и агроклиматических справочниках используется стандартная климатическая норма, содержащая осреднённые метеорологические параметры за период с 1961 по 1990 гг. Однако происходящие в последние годы климатические изменения диктуют необходимость корректировки базовых значений для выбора оптимальных сельскохозяйственных культур и сортов, а также планирования сроков проведения полевых работ. Ежегодно реальные погодные условия характеризуются существенной вариабельностью, но сравнение осредненных за длительные периоды метеорологических параметров дает представление об общей направленности подобных изменений. В связи с глобальными изменениями климата Всемирная метеорологическая организация (ВМО) приняла новый технический регламент об обновлении климатических норм (ВМО, 2015, 2017). Для оценки актуальной климатической ситуации с целью принятия хозяйственных решений предложено использовать оперативную климатическую норму, рассчитанную для последнего 30-летнего периода, который завершается годом, заканчивающимся цифрой 0. В настоящее время таким периодом является промежуток с 1991 по 2020 гг. Для долгосрочной оценки глобальных изменений климата применяется историческая (старая) климатическая норма, рассчитанная для опорного периода с 1961 по 1990 гг.

Основными лимитирующими факторами продуктивности полевых культур являются среднесуточная, минимальная и максимальная температура воздуха, а также осадки в критические фазы онтогенеза. Физико-географическое положение и складывающиеся погодные условия определяют динамику фаз онтогенеза полевых сельскохозяйственных культур, их продуктивность, рост и развитие. Диапазон наступления критических фаз онтогенеза довольно велик: в южных регионах всходы различных культур появляются в апреле-начале мая, в центральных и северных районах — в мае, колошение и цветение зерновых приходится на июнь-июль, а созревание наступает в июле-августе в зависимости от сельскохозяйственной культуры, места произрастания и погодных условий (Усков и др., 2014).

**Пшеница (озимая и яровая).** Цветение: при температуре воздуха (Т) от 1°C до -2°C происходит частичная гибель, при Т < -2°C – полная гибель, при Т > 30–35°C наблюдается череззерница, при Т > 39...40°C образуется пустой колос. Налив зерна, созревание: при Т < -4°C наблюдаются значительные повреждения, гибель (в фазе молочной спелости), при Т > 30°C происходит снижение массы зерен (Barlow et al., 2015; Stone et al., 1995; Wardlaw et al., 1989).

**Озимая пшеница.** Выход в трубку в средней полосе России приходится на первую половину мая при температуре не менее +10°C, фаза колошения наступает через 30–35 дней. Интенсивность колошения возрастает с увеличением светового дня и температуры. От весеннего пробуждения до

колошения в различных климатических регионах страны проходит 70-80 дней. На севере данный период короче, поскольку весной световой день здесь длиннее. Применение органических и азотных удобрений способствует его удлинению, фосфорно-калийных – сокращению на 2–4 дня. При температуре от +12 до +30°C цветение продолжается 7 дней, при жаркой и сухой погоде – 3–5 дней. Проявлению череззерницы способствуют высокие температуры, сильный ветер, сухой воздух и засуха. Формирование и налив зерна продолжают примерно 30 дней в зависимости от сорта и почвенно-климатических условий. Оптимальные условия для созревания складываются при влажности воздуха 50% и температуре +16–21°C. При засушливой погоде период созревания сокращается, при дождливой и прохладной — удлиняется. Период от полной спелости до физиологической зрелости зерна составляет 20–40 дней.

**Яровая пшеница.** На европейской части России высокие и устойчивые урожаи достигаются при ранних сроках посева, когда почва на глубине посева прогревается до +5...+6°C. В степной и лесостепной зонах Западной Сибири оптимальными являются средние сроки посева, приходящиеся на 10–25 мая. Однако позднеспелые сорта характеризуются более высокой урожайностью при относительно ранних сроках посева, а раннеспелые — при более поздних. При таких сроках посева фаза колошения пшеницы приходится на период июльских дождей.

**Овес.** Цветение: при Т 1...-2°C происходят значительные повреждения. Налив зерна, созревание: при Т -4...-5°C наблюдаются значительные повреждения, гибель (в фазе молочной спелости), при Т > 25–30°C наступает преждевременная спелость, происходит усыхание, отмечается невыполненность зерна.

**Ячмень.** Цветение: при Т 1...-2°C наблюдаются повреждения, при Т < -4°C отмечаются значительные повреждения, происходит гибель (в фазе молочной спелости), при Т < 12°C затягивается цветение. Налив зерна, созревание: при Т < 10–12°C замедляется созревание, при Т > 20–25°C наблюдается щуплость зерна.

Оптимальные сроки посева ярового ячменя совпадают со сроками посева яровой пшеницы. Для Сибири они приходятся на 15–25 мая, для азиатской части России — на 20–30 мая, чтобы фаза кущения выпала на период летних дождей. На Кубани и в Крыму практикуются зимние февральские посевы. Так, в Краснодарском крае при посеве в феврале урожайность достигает 2,2 т га<sup>-1</sup>.

**Картофель.** Ботва: при Т 0,5...-1,5°C начинает повреждаться, длительное воздействие температур -1...-2°C является губительным, при Т < 7°C прирост резко замедляется, а при Т > 42 °C прекращается. Цветение-формирование клубней: при Т < 2°C и > 29°C образование и рост клубней останавливаются. При среднесуточной Т > 18°C происходит тепловой шок, наблюдается вырождение клубней, при среднесуточной Т > 19...21°C количество нитевидных ростков на клубнях составляет 20%, при

среднесуточной  $T > 24^{\circ}\text{C}$  происходит вырождение клубней до 50%, при среднесуточной  $T > 25^{\circ}\text{C}$  вырождение клубней достигает 70%, при дневной  $T > 30^{\circ}\text{C}$  останавливается рост побегов (Поповская, 1957; Вильдфлуш, 2017).

**Овес.** В фазу молочной спелости заморозки до  $-4...-5^{\circ}\text{C}$  наносят значительный ущерб. Температуры выше  $25-30^{\circ}\text{C}$  способствуют наступлению преждевременной спелости, усыханию и невыполненности зерна. При температуре  $38-40^{\circ}\text{C}$  и сухости воздуха паралич устьиц наступает через 4–5 ч.

В России посевы овса располагаются вплоть до Полярного круга, несколько ниже границы ячменя, в Сибири их границы иногда совпадают. Основные посевные площади находятся в районах с достаточным увлажнением, таких как Кировская, Пермская, Тульская, Рязанская, Омская области, Башкирия, Татарстан и Алтайский край. Высев овса в конце мая на Урале и в Западной Сибири позволяет эффективнее использовать летние осадки.

Таким образом, для большинства сельскохозяйственных культур лимитирующими факторами продуктивности в фазу цветения-плодоношение в большинстве случаев являются

минимальные, среднесуточные и максимальные температуры воздуха, а также количество осадков.

Пространственно-временные характеристики минимальных температур за вегетационный период представлены в более ранних публикациях (Кононенко 2018, 2020). В данном исследовании будут рассмотрены средние и максимальные температуры воздуха, а также месячные суммы осадков.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Для изучения статистических характеристик температурных и влажностных факторов использовались данные наблюдений штатной метеорологической сети о средней и максимальной суточной температуре воздуха, а также суточном количестве осадков за июнь – июль с 1961 по 2020 гг. (60 лет), опубликованные Всероссийским научно-исследовательским институтом гидрометеорологической информации – Мировым центром данных (ВНИИГМИ-МЦД).

Исследование статистических характеристик проводилось для 27 реперных гидрометеостанций (ГМС) штатной метеорологической сети, расположенных в регионах с наиболее развитым сельскохозяйственным растениеводством (рис. 1).



Рис. 1. Схема расположения ГМС

В соответствие с Техническим регламентом ВМО, для оценки климатических параметров и их изменений используются либо климатологические стандартные нормы (за 30-летние периоды), либо средние значения за период более 10 лет [ВМО, 2015, 2017]. В данной работе оценка динамики температурных и влажностных факторов проводилась для двух 30-летних периодов: с 1961 по 1990 гг. и с 1991 по 2020 гг. Динамика изменений определялась как отклонение от стандартной климатической нормы (период с 1961 по 1990 гг.).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Температура воздуха

Согласно полученным результатам, среднемесячные температуры воздуха за период 1991–2020 гг. характеризовались устойчивым ростом как в июне, так и в июле почти на всех метеостанциях (табл. 1 и 2). Исключение составляла ГМС Омск, где отмечено их снижение в июле на  $0,3^{\circ}\text{C}$ . Наибольшее повышение температуры в июне (в пределах  $0,9-1,3^{\circ}\text{C}$ ) наблюдалось на метеостанциях Астрахань, Брянск, Волгоград, Воронеж, Казань, Краснодар, Курск, Кызыл и Пенза. Для всех станций было характерно увеличение стандартного отклонения. Экссесс для большинства станций отрицателен для обоих временных интервалов.

Таблица 1. Характеристики среднемесячной температуры воздуха, июнь

ГМС	1961–1990 гг.				1991–2020 гг.			
	средн.	станд. отклон.	асимм.	эксцесс	средн.	станд. отклон.	асимм.	эксцесс
Абакан	17,3	1,6	0,014	-0,31	18,0	1,8	0,101	-0,53
Астрахань	22,8	1,5	0,040	-0,91	23,8	1,9	0,089	-0,89
Бийск	17,5	1,5	0,040	-0,55	18,2	1,7	-0,137	-0,32
Благовещенск	18,6	1,5	-0,531	-0,26	19,4	1,6	0,392	-0,08
Брянск	16,6	1,9	0,261	-1,18	17,6	1,9	0,242	-0,70
Великие Луки	15,6	1,6	-0,166	-1,02	16,2	1,7	0,749	0,37
Волгоград	21,1	1,9	0,360	0,16	22,4	2,2	-0,252	-0,96
Вологда	14,8	2,1	-0,120	-0,85	15,2	1,8	0,157	-0,35
Воронеж	18,1	1,9	0,497	-0,58	19,1	2,0	-0,229	-0,98
Ижевск	16,3	2,1	0,156	0,31	16,7	2,0	0,122	-1,14
Казань	17,1	2,3	0,315	-0,69	18,3	2,1	-0,005	-0,79
Кострома	15,8	2,2	-0,077	-0,90	16,1	1,9	-0,070	0,00
Краснодар	20,9	1,3	0,786	-0,32	22,2	1,6	0,066	-1,00
Курган	17,5	1,8	-0,343	-0,16	18,2	2,0	-0,053	-0,67
Курск	17,2	1,9	0,484	-0,92	18,4	2,1	-0,096	-0,95
Кызыл	17,9	1,6	0,038	-0,65	19,0	1,7	0,179	-0,63
Нижний Новгород	16,5	2,2	0,088	-0,83	17,3	2,0	-0,189	-0,53
Омск	17,7	1,7	0,179	-0,62	18,0	2,1	-0,241	-0,29
Оренбург	19,8	1,8	0,312	-0,13	20,6	2,3	0,193	-0,73
Пенза	17,8	2,1	0,257	-0,99	18,6	2,1	-0,203	-0,62
Ростов-на-Дону	21,1	1,8	0,864	0,29	21,6	1,9	-0,218	-1,02
Рубцовск	18,8	1,5	-0,108	-0,88	19,3	1,7	-0,262	-0,89
Рязань	17,0	2,1	0,107	-1,03	17,4	2,0	-0,429	-0,40
Тамбов	18,1	2,1	0,304	-1,00	18,5	2,0	-0,304	-0,51
Троицк	18,2	2,0	0,179	-0,08	18,9	2,1	0,088	-0,94
Уфа	17,3	1,8	0,564	0,62	17,9	2,0	0,096	-1,16
Хабаровск	17,8	1,6	-0,188	-0,54	18,0	1,7	0,830	0,32

Средняя температура в июле на большинстве метеостанций повысилась более чем на 1°C. На метеостанциях Брянск (1,8°C), Великие Луки (1,7°C), Воронеж (1,6°C), Краснодар (1,6°C), Курск (1,7°C) и Кызыл (1,5°C) среднемесячная температура

повысилась более чем на 1,5°C, что для 30-летнего периода является весьма существенным. Среднеквадратическое отклонение увеличилось для всех станций, кроме Омска, где также зафиксировано общее снижение среднемесячной температуры.

Таблица 2. Характеристики среднемесячной температуры воздуха, июль

ГМС	1961–1990 гг.				1991–2020 гг.			
	средн.	станд. отклон.	асимм.	эксцесс	средн.	станд. отклон.	асимм.	эксцесс
Абакан	19,5	1,3	0,480	0,98	20,3	1,4	0,182	-1,00
Астрахань	25,2	1,2	-0,169	-1,10	26,1	1,4	0,117	0,06
Бийск	19,6	1,3	0,199	0,96	20,0	1,4	0,055	-0,78
Благовещенск	21,2	1,0	0,258	-0,06	22,2	0,9	-0,011	0,03
Брянск	17,7	1,6	0,681	-0,43	19,4	1,8	1,079	0,69
Великие Луки	16,8	1,3	0,615	0,37	18,5	1,7	0,665	0,24
Волгоград	23,5	1,6	-0,116	-0,20	24,8	2,0	0,163	-0,52
Вологда	17,0	1,6	0,678	0,16	17,7	1,9	0,749	0,48
Воронеж	19,6	1,5	0,701	0,52	21,1	1,9	0,783	0,64
Ижевск	18,8	1,9	-0,237	-0,48	18,8	1,9	-0,246	-0,99
Казань	19,4	1,8	0,400	0,13	20,5	2,0	0,381	0,72
Кострома	17,9	1,8	0,798	0,52	18,6	2,1	0,871	1,13
Краснодар	23,3	1,2	-0,123	-1,15	24,9	1,6	-0,554	-0,45
Курган	19,7	1,7	0,167	-0,26	19,7	1,9	0,142	-0,10
Курск	18,5	1,5	0,683	-0,48	20,2	1,9	1,226	1,25
Кызыл	19,6	1,2	0,111	-0,68	21,1	1,4	0,105	-0,57
Н. Новгород	18,5	1,7	0,587	0,11	19,7	2,0	0,845	1,65
Омск	19,7	1,7	-0,101	-0,39	19,4	1,7	0,414	0,04

ГМС	1961–1990 гг.				1991–2020 гг.			
	средн.	станд. отклон.	асимм.	эксцесс	средн.	станд. отклон.	асимм.	эксцесс
Оренбург	22,1	1,8	-0,035	-0,90	22,5	2,2	-0,250	0,19
Пенза	19,4	1,7	0,345	0,38	20,7	1,9	0,759	1,85
Ростов-на-Дону	23,0	1,3	0,224	-0,29	24,0	1,8	-0,379	-0,99
Рубцовск	20,7	1,3	0,047	1,46	20,7	1,3	-0,167	-0,54
Рязань	18,5	1,6	0,865	0,67	19,6	2,1	1,261	1,82
Тамбов	19,4	1,7	0,840	1,18	20,7	1,9	1,249	2,48
Троицк	20,0	1,8	0,279	-0,39	20,1	2,0	-0,209	-0,16
Уфа	19,3	1,6	-0,455	-0,57	19,8	1,8	-0,479	-0,67
Хабаровск	21,2	1,2	-0,559	-0,04	21,4	1,1	0,123	0,03

За последние 30 лет максимальные суточные температуры воздуха в июне и июле отличались устойчивым ростом на всех метеостанциях (табл. 3). Исключение составила ГМС Омск, где зафиксировано незначительное снижение. Средняя максимальная температура в июне повысилась более чем на 1°C на метеостанциях Астрахань (1,2°C), Волгоград (1,3 °C), Краснодар (1,2 °C), Кызыл (1,5°C), Пенза (1,7°C) и Саратов (1,1°C). Повышение более чем на 1 °C в июле отмечено на метеостанциях Астрахань (1,1°C), Брянск (1,8°C), Великие Луки (1,4°C), Волгоград (1,4°C),

Воронеж (1,9°C), Кострома (1,1°C), Краснодар (1,5°C), Курск (1,7°C), Кызыл (1,8°C), Нижний Новгород (1,4°C), Пенза (2,0°C), Рязань(1,5°C), Саратов (1,1°C) и Тамбов (2,0°C). С точки зрения отклонения от стандартной климатической нормы отмеченные изменения являются весьма значительными для 30летнего периода. На большинстве метеостанций средняя максимальная температура воздуха в июле превысила 25°C, что является критическим для определенных фенофаз развития множества полевых культур.

Таблица 3. Средняя максимальная суточная температура воздуха, °C

№ ГМС	ГМС	Июнь			Июль		
		1961–1990	1991–2020	разность	1961–1990	1991–2020	разность
29862	Абакан	24,6	25,5	0,9	26,3	<b>27,1</b>	0,8
34880	Астрахань	28,9	<b>30,1</b>	<b>1,2</b>	31,5	<b>32,6</b>	<b>1,1</b>
29939	Бийск	24,6	25,1	0,5	26,5	26,6	0,1
31510	Благовещенск	25,0	25,5	0,5	26,8	<b>27,7</b>	0,9
26898	Брянск	21,8	22,8	<b>1,0</b>	22,8	24,6	<b>1,8</b>
26477	Великие Луки	21,4	21,8	0,4	22,6	23,9	<b>1,4</b>
34561	Волгоград	26,8	<b>28,1</b>	<b>1,3</b>	29,2	<b>30,7</b>	<b>1,4</b>
27037	Вологда	20,6	21,2	0,5	22,7	23,6	0,8
34123	Воронеж	24,0	25,1	<b>1,0</b>	25,4	<b>27,3</b>	<b>1,9</b>
28411	Ижевск	22,4	22,9	0,5	24,6	25,0	0,4
27595	Казань	22,7	23,6	0,8	24,8	25,8	<b>1,0</b>
27333	Кострома	21,2	21,7	0,5	23,1	24,2	<b>1,1</b>
34927	Краснодар	26,9	<b>28,1</b>	<b>1,2</b>	29,5	<b>31,0</b>	<b>1,5</b>
28661	Курган	23,9	24,6	0,7	25,7	25,8	0,2
34009	Курск	22,5	23,5	0,9	23,7	25,5	<b>1,7</b>
36096	Кызыл	25,4	26,9	<b>1,5</b>	26,6	<b>28,4</b>	<b>1,8</b>
27459	Н.Новгород	21,8	22,7	0,9	23,6	24,9	<b>1,4</b>
28698	Омск	24,0	23,8	-0,2	25,5	25,0	-0,5
35121	Оренбург	26,6	<b>27,4</b>	0,8	28,8	<b>29,3</b>	0,5
27962	Пенза	23,2	24,9	<b>1,7</b>	25,0	<b>27,0</b>	<b>2,0</b>
34730	Ростов-на-Дону	26,9	27,5	0,6	29,2	<b>30,1</b>	0,9
36034	Рубцовск	26,2	26,7	0,5	27,7	<b>27,7</b>	0,0
27730	Рязань	22,7	23,4	0,7	24,1	25,6	<b>1,5</b>
34172	Саратов	25,7	<b>26,8</b>	<b>1,1</b>	27,8	<b>28,9</b>	<b>1,1</b>
27947	Тамбов	23,9	24,7	0,8	25,1	<b>27,1</b>	<b>2,0</b>
28748	Троицк	24,6	25,4	0,8	25,9	26,2	0,3
28722	Уфа	23,8	24,3	0,5	25,5	26,0	0,5
31735	Хабаровск	23,5	23,7	0,2	26,4	26,7	0,3

В плане влияния аномально высоких температур на фазы онтогенеза особый интерес представляют абсолютные значения максимальных суточных температур воздуха. В большинстве регионов на июнь приходятся такие критические фазы развития зерновых культур, как колошение и цветение. Согласно проведенным исследованиям, на большинстве метеостанций максимальная температура воздуха в июне колебалась в диапазоне от 20 до 30°C, что для большинства сельскохозяйственных культур не выходит за пределы оптимума. При этом в июне в период с 1991 по 2020 гг.

на некоторых метеостанциях отмечено более 25% дней с максимальной дневной температурой выше 30°C, что является критическим для основных фаз онтогенеза множества полевых культур, приходящихся на июнь. Такие температуры наблюдались в Астрахани (53%), Волгограде (36%), Краснодаре (30%), Кызыле (29%), Оренбурге (33%), Рубцовске (25%) и Саратове (25%). Более 15% дней с такими же значениями температуры отмечено на метеостанциях Абакан (16%), Благовещенск (17%), Курган (17%), Пенза (17%), Рязань (16%), Тамбов (16%) и Троицк (19%) (табл. 4).

Таблица 4. Количество дней (%) с максимальной температурой воздуха по диапазонам за период 1991-2020 гг., июнь.

№ ГМС	Название ГМС	5–15°C	15–20°C	20–25°C	25–30°C	30–35°C	35–40°C
29862	Абакан	2	13	30	38	17	1
34880	Астрахань	0	1	10	36	<b>42</b>	<b>11</b>
29939	Бийск	2	12	31	42	12	0
31510	Благовещенск	1	10	35	37	15	2
26898	Брянск	3	26	38	28	5	0
26477	Великие Луки	6	30	38	23	3	0
34561	Волгоград	0	4	23	37	<b>30</b>	<b>6</b>
27037	Вологда	11	31	36	19	3	0
34123	Воронеж	1	14	35	37	14	0
28411	Ижевск	5	23	37	28	6	0
27595	Казань	5	18	37	30	9	1
27333	Кострома	7	30	38	21	4	0
34927	Краснодар	0	2	19	49	<b>27</b>	<b>3</b>
28661	Курган	4	17	31	30	16	1
34009	Курск	2	21	38	34	5	0
36096	Кызыл	1	9	26	36	<b>25</b>	<b>4</b>
27459	Нижний Новгород	5	24	38	27	5	0
28698	Омск	7	18	33	30	12	0
35121	Оренбург	1	7	26	35	<b>24</b>	<b>8</b>
27962	Пенза	2	15	34	32	15	2
34730	Ростов-на-Дону	0	3	27	41	<b>27</b>	<b>2</b>
36034	Рубцовск	1	9	24	40	<b>24</b>	<b>1</b>
27730	Рязань	1	8	38	41	15	1
34172	Саратов	0	6	31	36	<b>21</b>	<b>4</b>
27947	Тамбов	2	16	35	32	15	1
28748	Троицк	3	13	30	34	18	1
28722	Уфа	4	15	36	31	13	0
31735	Хабаровск	3	18	40	32	7	0

Продолжительные периоды с максимальными температурами воздуха выше 30°C являются критическими для множества зерновых культур в фазу налива-созревания зерна, а также для картофеля в фазу цветения-формирования клубней. Во многих регионах страны данные фазы развития приходятся на июль.

На большинстве исследованных ГМС максимальная температура воздуха в июле чаще всего колебалась в диапазоне от 20 до 30°C, что находится в пределах оптимума для множества сельскохозяйственных культур (табл. 5). Однако следует отметить, что за период 1991–2020 гг. более 50% дней с максимальной дневной температурой выше 30°C зафиксировано на метеостанциях Астрахань

(77%), Волгоград (56%), Краснодар (59%) и Ростов-на-Дону (50%). Около 40% дней с такими же показателями температуры отмечено на метеостанциях Оренбург (44%) и Саратов (39%), более 25% дней — на метеостанциях Воронеж (25%), Кызыл (34%), Пенза (25%), Рубцовск (28%) и Тамбов (25%).

#### Осадки

Изменения месячного количества осадков за последние 30 лет носят разнонаправленный характер. На различных ГМС в июне и июле отмечено как снижение, так и увеличение количества осадков относительно стандартной климатической нормы 1961–1990 гг. (рис. 2).

Таблица 5. Количество дней (%) с максимальной температурой воздуха по диапазонам за период 1991–2020 гг., июль

№ ГМС	Название ГМС	10–15°C	15–20°C	20–25°C	25–30°C	30–35°C	35–40°C
29862	Абакан	0	3	25	49	21	2
34880	Астрахань	0	0	1	22	<b>52</b>	<b>25</b>
29939	Бийск	0	5	27	49	17	1
31510	Благовещенск	0	2	18	57	22	2
26898	Брянск	1	13	41	35	10	0
26477	Великие Луки	1	15	45	33	6	0
34561	Волгоград	0	0	6	37	<b>42</b>	<b>14</b>
27037	Вологда	2	17	44	30	6	0
34123	Воронеж	0	4	27	44	22	3
28411	Ижевск	2	12	33	39	12	1
27595	Казань	1	8	33	42	15	1
27333	Кострома	2	14	42	34	7	1
34927	Краснодар	0	0	4	37	<b>46</b>	<b>13</b>
28661	Курган	1	11	30	40	16	2
34009	Курск	1	8	38	40	13	1
36096	Кызыл	0	2	19	45	<b>28</b>	<b>6</b>
27459	Нижний Новгород	1	11	39	39	9	1
28698	Омск	1	13	34	41	10	1
35121	Оренбург	0	2	16	38	<b>34</b>	<b>10</b>
27962	Пенза	0	4	30	41	22	3
34730	Ростов-на-Дону	0	0	8	42	<b>38</b>	<b>12</b>
36034	Рубцовск	0	3	23	47	<b>25</b>	<b>3</b>
27730	Рязань	1	8	37	40	14	1
34172	Саратов	0	1	16	44	<b>31</b>	<b>8</b>
27947	Тамбов	0	4	28	43	<b>22</b>	<b>3</b>
28748	Троицк	0	11	27	40	19	2
28722	Уфа	1	9	31	42	17	1
31735	Хабаровск	0	4	25	56	15	0

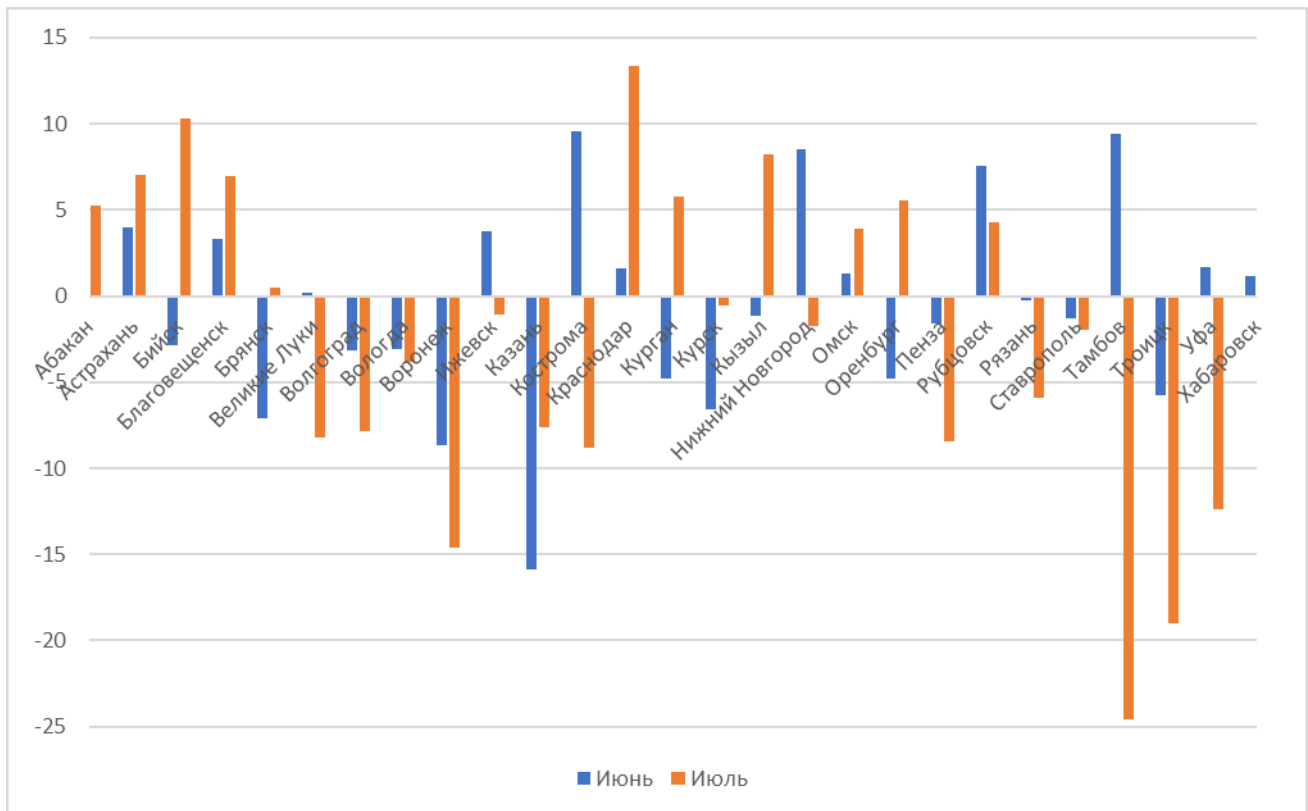


Рис. 2. Изменение месячного количества осадков, мм

В табл. 6 представлена динамика среднемесячных сумм осадков (в %). За последние 30 лет незначительное увеличение количества осадков в июне наблюдалось в Костроме, Нижнем Новгороде, Рубцовске и Тамбове. Увеличение их количества в июле отмечено в Астрахани, Бийске, Краснодаре и Кызыле. Снижение количества осадков в июне зафиксировано в Брянске (–7 мм, или 9%), Воронеже (–9 мм, или 12%), Курске (–7 мм, или 9%) и Казани (–16 мм, или 22%). Количество осадков в июле уменьшилось на станциях Волгоград (–8 мм, или 22%),

Воронеж (–15 мм, или 20 %), Казань –8 мм, или 11%), Кострома (–9 мм, или 11%), Тамбов (–25 мм, или 31%), Троицк (–19 мм, или 24%) и Уфа –12 мм, или 20%). Поскольку речь идёт об отклонении среднего за 30-летний период от стандартной климатической нормы, данные изменения являются весьма существенными и в сочетании со значительным увеличением количества дней с максимальными температурами воздуха в 30–35°C могут оказывать серьезное негативное воздействие на урожайность сельскохозяйственных культур.

Таблица 6. Динамика среднемесячного количества осадков, %

№ ГМС	Название ГМС	Июнь	Июль
29862	Абакан	7	8
34880	Астрахань	20	50
29939	Бийск	–5	17
31510	Благовещенск	4	5
26898	Брянск	–9	1
26477	Великие Луки	0	–9
34561	Волгоград	–8	–22
27037	Вологда	–5	–5
34123	Воронеж	–12	–20
28411	Ижевск	10	–4
27595	Казань	–22	–11
27333	Кострома	15	–11
34927	Краснодар	2	25
28661	Курган	–9	10
34009	Курск	–9	–1
36096	Кызыл	–3	17
27459	Нижний Новгород	13	–2
28698	Омск	2	6
35121	Оренбург	–12	15
27962	Пенза	–3	–13
36034	Рубцовск	23	8
27730	Рязань	0	–7
34949	Ставрополь	–2	–3
27947	Тамбов	17	–31
28748	Троицк	–11	–24
28722	Уфа	3	–20
31735	Хабаровск	1	–4

## ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, что на земельной территории России за период 1991–2020 гг. в июне и июле наблюдалось значительное повышение средних и максимальных суточных температур. На указанные месяцы в основном приходятся фазы цветения, налива зерна и созревания основных сельскохозяйственных культур. Среднесуточные температуры более 20°C и максимальные дневные температуры в 30–35°C на фоне незначительного количества осадков являются критическими для данных фаз онтогенеза, что в результате может отразиться на величине и качестве урожая.

Согласно полученным результатам, наибольший рост среднемесячной температуры в июне (в пределах 0,9–1,3°C) наблюдался на метеостанциях Астрахань, Брянск, Волгоград, Воронеж, Казань, Краснодар, Курск, Кызыл и Пенза. На большинстве метеостанций средняя температура в июле повысилась более чем на 1°C. На метеостанциях Брянск, Великие Луки, Воронеж, Краснодар, Курск и Кызыл

среднемесячная температура повысилась более чем на 1,5°C.

Средние максимальные суточные температуры воздуха за последние 30 лет также характеризовались устойчивым ростом в июне и июле. Средняя максимальная температура в июне повысилась более чем на 1°C на метеостанциях Астрахань, Волгоград, Краснодар, Кызыл, Пенза и Саратов. Повышение температуры в июле более чем на 1,5°C отмечено на метеостанциях Брянск, Воронеж, Краснодар, Курск, Кызыл, Пенза, Рязань и Тамбов. С точки зрения отклонения от стандартной климатической нормы отмеченные изменения являются весьма значительными для 30-летнего периода.

В плане влияния аномально высоких температур на фазы онтогенеза особый интерес представляют абсолютные значения максимальных суточных температур воздуха. Продолжительные периоды с максимальными температурами воздуха выше 30°C являются критическими для множества зерновых культур в фазу налива-созревания зерна, а также для картофеля в фазу цветения-формирования клубней. Во многих регионах страны данные фазы



развития приходится на июль. За период 1991–2020 гг. более 50% дней в июле с максимальной дневной температурой выше 30°C наблюдалось на метеостанциях Астрахань, Волгоград, Краснодар и Ростов-на-Дону. Около 40% дней с такими же значениями температуры отмечено на метеостанциях Оренбург и Саратов, более 25% дней — на метеостанциях Воронеж, Кызыл, Пенза, Рубцовск и Тамбов.

Изменения месячного количества осадков за последние 30 лет носят разнонаправленный характер. На различных ГМС в июне и июле отмечено как снижение, так и увеличение количества осадков относительно стандартной климатической нормы 1961–1990 гг. Незначительное увеличение количества

осадков в июне отмечено в Костроме, Нижнем Новгороде, Рубцовске и Тамбове, в июле — в Астрахани, Бийске, Краснодаре и Кызыле. Снижение количества осадков в июле зафиксировано на станциях Волгоград (22%), Воронеж (20%), Казань (11%), Кострома (11%), Тамбов (31%), Троицк (24%) и Уфа (20%). Поскольку речь идёт об отклонениях среднего за 30-летний период от стандартной климатической нормы, отмеченные изменения являются весьма существенными и в сочетании со значительным увеличением количества дней с максимальными температурами воздуха в 30–35 °C могут оказывать серьёзное негативное воздействие на урожайность сельскохозяйственных культур.

#### Список литературы

- Вильдфлуш И. Р. Справочник агронома / Под ред. И. Р. Вильдфлуша, П. А. Саскевича. Горки: БГСХА, 2017. 315 с. ВМО № 49. Технический регламент. Т. 1. Общие метеорологические стандарты и рекомендуемые практики. 2015. 38 с. ВМО № 1203. Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм. 2017.
- Кононенко О.В. Статистическая структура и зональное распределение радиационных заморозков по территории Северо-Западного региона Российской Федерации // Агрофизика. 2018. № 4. С. 59–67. DOI: 10.25695/AGRPH.2018.04.09
- Кононенко О. В. Климатическая обусловленность сроков возникновения агробиологических рисков радиационных заморозков в Северо-Западном регионе России // Агрофизика. 2020. № 4. С. 40–45.
- Поповская О. М. Агрометеорологические условия произрастания картофеля // Вестник сельскохозяйственной науки. 1957. № 8. С. 127–133.
- Усков И. Б., Усков А. О. Основы адаптации земледелия к изменениям климата. Справочное издание. СПб.: Нестор-История, 2014. 385 с.
- Barlow K. M., Christy B. P., O’Leary G. J., Riffkin P.A., Nuttall J.G. Simulating the impact of extreme heat and frost events on wheat crop production: a review // Field Crops Res. 2015. Vol. 171. pp. 109–119.
- Stone P., Nicolas M. Wheat cultivars vary widely in their responses of grain yield and quality to short periods of post-anthesis heat stress // Funct. Plant Biol. 1994. Vol. 21. pp. 887–900.
- Wardlaw I., Dawson I., Munibi P., Fewster R. The tolerance of wheat to high temperatures during reproductive growth: I. Survey procedures and general response patterns // Aust. J. Agric. Res. 1989. Vol. 40. pp. 1–13.

#### References

- Vil’dflush I. R. Spravochnik agronoma [Agronomist's guide] / Pod red. I. R. Vil’dflusha, P. A. Saskevicha. Gorki: BGSNA, 2017, 315 p.
- Vsemirnaya meeorologicheskaya organizatsiya No. 49 Tekhnicheskiiy reglament. T. 1. Obshchiye meteorologicheskiye standarty i rekomenduyemyye praktiki [World Meteorological Organization, Technical Regulations, WMO Publication No. 49, Basic Documents No. 2. Volume I. General Meteorological Standards and Recommended Practices]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 2015, 38 p.
- Vsemirnaya meeorologicheskaya organizatsiya No. 1203. Rukovodyashchiye ukazaniya VMO po raschety klimaticheskikh norm [World Meteorological Organization. WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. No. 1203]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 2017.
- Kononenko O. V. Statisticheskaya struktura i zonal’noye raspredeleniye radiatsionnykh zamorozkov po territorii Severo-Zapadnogo regiona Rossii [Statistical structure and zonal distribution of radiation frosts across the territory of the North-West region of the Russian Federation] // *Agrofizika*, 2018, no. 4, pp. 59–67.
- Kononenko O. V. Klimaticheskaya obuslovlennost’ srokov vzniknoveniya agrobiologicheskikh riskov radiatsionnykh zamorozkov v Severo-Zapadnom regione Rossii [Climatic conditioning of the timing of agrobiological risks of radiation frosts in the North-West region of Russia] // *Agrofizika*, 2020, no. 4, pp. 40–45.
- Popovskaya O. M. Agrometeorologicheskiye usloviya proizrastaniya kartofelya [Agrometeorological conditions for growing potatoes] // *Vestnik sel’skokhozyaystvennoy nauki*, 1957, no. 8, pp. 127–133.
- Uskov I. B., Uskov A. O. Osnovy adaptatsii zemledeliya k izmeneniyam klimata. Spravochnoye izdaniye [Fundamentals of agriculture adaptation to climate change. Reference edition]. Saint-Petersburg: Nestor-Istoriya, 2014, 385 p.
- Barlow K. M., Christy B. P., O’Leary G.J., Riffkin P.A., Nuttall J.G. Simulating the impact of extreme heat and frost events on wheat crop production: a review // *Field Crops Res.*, 2015, vol. 171, pp. 109–119.
- Stone P., Nicolas M. Wheat cultivars vary widely in their responses of grain yield and quality to short periods of post-anthesis heat stress // *Funct. Plant Biol.*, 1994, vol. 21, pp. 887–900.
- Wardlaw I., Dawson I., Munibi P., Fewster R. The tolerance of wheat to high temperatures during reproductive growth: I. Survey procedures and general response patterns // *Aust. J. Agric. Res.*, 1989, vol. 40, pp. 1–13.