

УДК 551.582.2

## КЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ МЕТЕОПАРАМЕТРОВ ЗИМЫ, ВЛИЯЮЩИХ НА УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОМ ЭКОНОМИЧЕСКОМ РАЙОНЕ

*И.А. Смирнов<sup>1</sup>, Е.А. Дронова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, [ivan-2-2-99@yandex.ru](mailto:ivan-2-2-99@yandex.ru), [edronova@rgau-msha.ru](mailto:edronova@rgau-msha.ru)*

***Аннотация:** на основе данных за период с 1993 по 2022 год оценены изменения метеопараметров зимы, влияющих на урожайность озимой пшеницы в областях Центрально-Черноземного экономического региона. В частности, рассмотрены такие показатели как: средняя температура воздуха самого холодного месяца и самой холодной пятидневки, продолжительность периода между датами устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C осенью и весной, а также сумма отрицательных температур воздуха за этот период.*

***Ключевые слова:** многолетние изменения, температура воздуха, зимний период, даты перехода через 0°C линия тренда, ЦЧЭР.*

**Актуальность.** В период перезимовки озимых зерновых культур на растения оказывает воздействие множество факторов, в том числе и метеорологических, связанных с температурой воздуха и почвы, осадками, снежным покровом и т.д. Действуя отдельно или в совокупности, они могут повлиять на продуктивность озимых сельскохозяйственных культур и вызвать снижение итогового урожая. На фоне наблюдающихся климатических изменений важно следить за многолетней динамикой этих метеопараметров, чтобы оценить их вклад в колебания урожайности озимых зерновых культур.

В свою очередь по данным Росстата Центрально-Черноземный экономический район (ЦЧЭР), который включает в себя Липецкую, Белгородскую, Тамбовскую, Воронежскую и Курскую области, можно назвать одним из ключевых и наиболее благоприятных регионов для производства зерна озимой пшеницы в России [1].

В ряде работ исследователи оценивали климатические изменения условий перезимовки озимой пшеницы в рассматриваемом регионе [2-6]. Однако зачастую в них оценивалось изменение метеопараметров зимы без привязки к фактическим данным об урожайности озимой пшеницы, или же

рассматривались отличные от используемых в нашем исследовании временные рамки.

Ранее мы, в ходе нашего исследования влияния изменений климата на продуктивность озимой пшеницы в областях ЦЧЭР, провели корреляционно-регрессионный анализ, направленный на оценку моделей парной регрессии между урожайностью данной культуры и 21 метеопараметром зимы за период с 1993 по 2022 год. Так как все коэффициенты детерминации для полученных моделей были меньше 0,5, мы отобрали для анализа лишь те зависимости, которые можно назвать статистически значимыми, основываясь на оценке критерия Фишера и Р-значений [7]. Такого рода зависимости могут быть более выраженными при наличии более обширного объема данных.

В итоге нами было выделено четыре параметра перезимовки, при которых статистически значимые зависимости урожайности отмечаются во всех пяти областях ЦЧЭР. Это: средняя температура воздуха самого холодного месяца и самой холодной пятидневки, продолжительность периода между датами устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C осенью и весной, а также сумма отрицательных температур воздуха за этот период. В данном же исследовании мы оценим многолетние изменения этих четырех показателей за период с 1993 по 2022 год, и отдельные десятилетия.

**Объекты и методы исследования.** При проведении данного исследования использовались многолетние данные о средней температуре воздуха, на основе которых также были определены даты устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C. Используемые метеоданные были взяты из базы данных Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД) по метеостанциям: Поныри, Курск, Рыльск – север, центр и запад Курской области, Каменная Степь и Воронеж – центр и север Воронежской, Тамбов – центр Тамбовской, Готня, Валуйки, Богородицкое-Фенино – запад, юго-восток и север Белгородской, Конь-Колодезь – юг Липецкой [8]. Эти метеостанции были взяты как единственные в регионе с доступным для использования набором метеоданных за период с 1993 по 2022 год.

За каждый год тридцатилетнего периода нами было определено число дней между датами устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C осенью и весной, суммы отрицательных температур воздуха между этими датами, а также значения средней температура воздуха самого холодного месяца и самой холодной пятидневки за период перезимовки озимой пшеницы.

Полученные результаты по двум – трем метеостанциям в Воронежской, Белгородской и Курской областях были осреднены и приняты как

среднеобластные значения, в тоже время для Липецкой и Тамбовской областей за такие значения приняты данные единственных метеостанций.

Как уже было отмечено, анализ проведен за тридцатилетний период с 1993 по 2022 год, а также за отдельные десятилетия: 1993-2002, 2003-2012 и 2013-2022.

**Обсуждение результатов.** В таблицах 1 – 4 представлены средние значения и уравнения линий тренда для рассматриваемых параметров за тридцатилетний период и отдельные десятилетия. Рассмотрим их подробнее.

Как видно по таблице 1 показатель со средней температуры воздуха за самый холодный месяц имеет положительный тренд во всех пяти областях ЦЧЭР, наиболее выраженный в Воронежской и Белгородской. Но при рассмотрении отдельных десятилетий видно, что в период с 2003 по 2012 год температура самого холодного месяца имела тенденцию к понижению. Однако за последние десять рассматриваемых лет такие температуры значительно выросли, в том числе и на фоне периода 1993-2002 гг.

Наименьшее значение средней температуры воздуха за самый холодный месяц во всех областях пришлось на зиму 2009-2010 гг.: -18,1°C в Тамбовской, -16,7°C в Липецкой, -14,4°C в Воронежской, -13,8°C в Курской и -12,2°C в Белгородской. Наибольшее отмечено в сезоне 2019-2020 гг.: -1,8°C, -1,2°C, -0,9°C, -0,8°C и -0,7°C соответственно.

*Таблица 1*

Средние многолетние значения и уравнения линии тренда средней температуры воздуха за самый холодный месяц в областях ЦЧЭР

Область		1993-2022 гг.	1993-2002 гг.	2003-2012 гг.	2013-2022 гг.
Тамбовская	Среднее, °С	-9,8	-9,7	-11,8	-7,9
	Ур. Линии тренда	$y = 0,082x - 11,082$	$y = 0,212x - 10,853$	$y = -0,349x - 9,913$	$y = 0,209x - 9,047$
Липецкая	Среднее, °С	-8,8	-8,9	-10,7	-6,9
	Ур. Линии тренда	$y = 0,095x - 10,321$	$y = 0,34x - 10,78$	$y = -0,404x - 8,507$	$y = 0,219x - 8,107$
Воронежская	Среднее, °С	-8,4	-8,7	-10,1	-6,4
	Ур. Линии тренда	$y = 0,107x - 10,09$	$y = 0,297x - 10,373$	$y = -0,402x - 7,903$	$y = 0,233x - 7,72$
Белгородская	Среднее, °С	-7,6	-8,1	-8,9	-5,8
	Ур. Линии тренда	$y = 0,107x - 9,242$	$y = 0,19x - 9,153$	$y = -0,35x - 6,938$	$y = 0,257x - 7,202$
Курская	Среднее, °С	-8	-8,2	-9,4	-6,5
	Ур. Линии тренда	$y = 0,08x - 9,25$	$y = 0,129x - 8,878$	$y = -0,299x - 7,753$	$y = 0,238x - 7,832$

Стоит отметить, что с 1993 по 2002 год в областях ЦЧЭР декабрь был самым холодным месяцем зимы 6 раз из 10 лет, но начиная с 2003 года таковым он был лишь в зимнем сезоне 2012-2013 гг. в Воронежской, Курской и Белгородской областях. Еще пару раз он был отмечен как самый холодный на отдельных метеостанциях в Воронежской (2017 год) и Курской (2015 год) областях. С 2003 года январь и февраль были самыми холодными месяцами зимы примерно одинаковое количество раз, с небольшим перевесом в сторону января. При этом за период 2003-2012 гг. чаще самым холодным месяцем был февраль, а за последние десять лет январь.

Самые холодные пятидневки как правило приходятся на самый холодный месяц зимнего сезона. В связи с этим средние температуры воздуха за самую холодную пятидневку в целом имеют схожую многолетнюю динамику значений с аналогичными показателями для самого холодного месяца (табл. 2). Также по всем пяти областям отмечается положительный тренд при оценке тридцатилетнего периода и отрицательный при рассмотрении периода с 2003 по 2012 гг. Однако разница между средними значениями этого показателя за периоды 1993-2002 гг. и 2003-2012 гг. здесь в целом значительно ниже.

Таблица 2

Средние многолетние значения и уравнения линии тренда средней температуры воздуха за самую холодную пятидневку в областях ЦЧЭР

Область		1993-2022 гг.	1993-2002 гг.	2003-2012 гг.	2013-2022 гг.
Тамбовская	Среднее, °С	-19,5	-20,1	-21,3	-17,3
	Ур. Линии тренда	$y = 0,138x - 21,661$	$y = 0,161x - 20,967$	$y = -0,442x - 18,82$	$y = 0,609x - 20,607$
Липецкая	Среднее, °С	-18,7	-20,1	-20	-16,1
	Ур. Линии тренда	$y = 0,186x - 21,604$	$y = 0,407x - 22,307$	$y = -0,746x - 15,887$	$y = 0,59x - 19,33$
Воронежская	Среднее, °С	-17,7	-18,9	-19	-15,2
	Ур. Линии тренда	$y = 0,176x - 20,396$	$y = 0,481x - 21,5$	$y = -0,79x - 14,64$	$y = 0,637x - 18,68$
Белгородская	Среднее, °С	-16,7	-17,6	-17,7	-14,7
	Ур. Линии тренда	$y = 0,147x - 18,936$	$y = 0,451x - 20,071$	$y = -0,603x - 14,362$	$y = 0,653x - 18,293$
Курская	Среднее, °С	-16,8	-18,2	-17,5	-14,8
	Ур. Линии тренда	$y = 0,175x - 19,547$	$y = 0,518x - 21,004$	$y = -0,517x - 14,698$	$y = 0,704x - 18,667$

Наиболее высокие температуры воздуха за самую холодную пятидневку были также отмечены зимой 2019-2020 гг.: -9,2°С в Тамбовской, -8,3°С в Воронежской, -8,2 в Белгородской, -8,0°С в Липецкой и -7,0°С в Курской областях. Наименьшие же значения этого показателя были отмечены в сезоне

2005-2006 гг.: -27,8°C в Тамбовской, -24,2°C в Курской и Белгородской областях. В Липецкой и Воронежской они были зафиксированы зимой 2009-2010 гг. и составили -27,4°C и -25,1°C соответственно.

Теперь рассмотрим изменение продолжительности периода между датами устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C осенью и весной (табл. 3).

По данным за тридцать лет во всех пяти областях наблюдается отрицательный тренд этого показателя, число дней за этот период становится меньше. Среднее значение за 2013-2022 гг. примерно на 18 – 25 дней меньше, чем за 1993-2002 гг. Однако в тоже время при рассмотрении отдельных десятилетий видно, что в последние десять лет продолжительность этого периода имеет тенденцию к увеличению и демонстрирует положительный тренд во всех пяти областях. В Тамбовской, Липецкой и Воронежской областях такой тренд отмечен также и за 2003-2012 гг.

Таблица 3

Средние многолетние значения и уравнения линии тренда продолжительности периода между датами устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C осенью и весной в областях ЦЧЭР

Область		1993-2022 гг.	1993-2002 гг.	2003-2012 гг.	2013-2022 гг.
Тамбовская	Среднее, дни	119	133	116	108
	Ур. Линии тренда	$y = -1,049x + 135,23$	$y = -0,376x + 134,87$	$y = 0,885x + 111,53$	$y = 1,327x + 100,4$
Липецкая	Среднее, дни	111	121	111	101
	Ур. Линии тренда	$y = -0,921x + 125,2$	$y = -1,879x + 131,53$	$y = 1,121x + 104,73$	$y = 0,527x + 97,8$
Воронежская	Среднее, дни	111	120	111	102
	Ур. Линии тренда	$y = -0,821x + 123,79$	$y = -2,452x + 133,13$	$y = 0,555x + 108,4$	$y = 0,812x + 97,633$
Белгородская	Среднее, дни	103	114	104	92
	Ур. Линии тренда	$y = -1,138x + 120,6$	$y = -3,853x + 134,89$	$y = -0,776x + 107,87$	$y = 0,416x + 89,311$
Курская	Среднее, дни	110	123	107	100
	Ур. Линии тренда	$y = -1,051x + 126,37$	$y = -2,447x + 136,09$	$y = -0,273x + 108,73$	$y = 1,073x + 94,467$

Дополнительно кратко рассмотрим изменение в датах устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C осенью и весной.

Таблица 4

Средние многолетние значения дат устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C осенью и весной в областях ЦЧЭР

Область		1993-2022	1993-2002	2003-2012	2013-2022
Тамбовская	Осень	22.ноя	15.ноя	26.ноя	25.ноя

	Весна	20.мар	26.мар	22.мар	12.мар
Липецкая	Осень	26.ноя	17.ноя	30.ноя	30.ноя
	Весна	16.мар	17.мар	20.мар	10.мар
Воронежская	Осень	25.ноя	17.ноя	29.ноя	29.ноя
	Весна	15.мар	15.мар	20.мар	10.мар
Белгородская	Осень	28.ноя	19.ноя	02.дек	04.дек
	Весна	11.мар	13.мар	16.мар	06.мар
Курская	Осень	25.ноя	16.ноя	01.дек	29.ноя
	Весна	14.мар	17.мар	18.мар	08.мар

Как видно из таблицы 4 средняя дата устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C осенью в 2003-2012 гг. в областях ЦЧЭР стала наступать примерно на 11 – 15 дней позже, чем в 1993-2002 гг. В тоже время весной она также отмечалась позже на 1 – 5 дней во всех областях, кроме Тамбовской.

В свою очередь за последние десять лет устойчивый переход температуры воздуха через 0°C весной стал отмечаться примерно на 10 дней раньше, чем за период 2003-2012 гг., в то время как средние даты перехода через 0°C осенью практически не изменились.

Таблица 5

Средние многолетние значения и уравнения линии тренда сумм отрицательных температур воздуха за период между датами устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C осенью и весной в областях ЦЧЭР

Область		1993-2022 гг.	1993-2002 гг.	2003-2012 гг.	2013-2022 гг.
Тамбовская	Среднее, °С	-781,4	-842,8	-869,4	-632
	Ур. Линии тренда	$y = 10,55x - 944,94$	$y = 32,902x - 1023,8$	$y = -8,52x - 822,54$	$y = 7,535x - 673,48$
Липецкая	Среднее, °С	-683,5	-758,1	-757,8	-534,5
	Ур. Линии тренда	$y = 11,324x - 858,97$	$y = 36,528x - 958,97$	$y = -10,061x - 702,43$	$y = 11,072x - 595,43$
Воронежская	Среднее, °С	-650,8	-723,5	-715,6	-513,3
	Ур. Линии тренда	$y = 10,651x - 815,89$	$y = 38,547x - 935,51$	$y = -11,057x - 654,78$	$y = 7,898x - 556,76$
Белгородская	Среднее, °С	-567	-643,4	-620,3	-437,4
	Ур. Линии тренда	$y = 10,836x - 734,98$	$y = 36,011x - 841,45$	$y = -1,925x - 609,69$	$y = 11,433x - 500,28$
Курская	Среднее, °С	-603,8	-677,4	-659,7	-474,3
	Ур. Линии тренда	$y = 10,823x - 771,59$	$y = 33,504x - 861,71$	$y = 0,923x - 664,82$	$y = 14,205x - 552,44$

Наконец, оценим изменение сумм отрицательных температур воздуха за период между датами устойчивого перехода через 0°C осенью и весной (табл. 5). По данным за тридцатилетний период во всех пяти областях отмечается положительный тренд для этого показателя, т.е. за зиму накапливается меньше

отрицательных температур, что объясняется, собственно, ростом средних температур воздуха (потеплением) и уменьшением продолжительности периода между датами устойчивого перехода через 0°C. Тем не менее за период 2003-2012 гг. во всех областях, кроме Курской, отмечена тенденция к увеличению сумм отрицательных температур воздуха, которая в 2013-2022 опять сменяется их снижением.

Наибольшая сумма отрицательных температур воздуха отмечена в Тамбовской области в сезоне 2002-2003 гг. и составила -1238°C, в остальных областях максимум был отмечен зимой 1995-1996 гг.: -1233°C, -1157°C, -1154°C, -1100°C в Липецкой, Курской, Воронежской и Белгородской соответственно. Минимум во всех областях отмечен в сезоне 2019-2020 гг.: -235°C в Тамбовской, -177°C в Воронежской, -170°C в Липецкой, -134°C в Курской и -113°C в Белгородской областях соответственно. Начиная с 2013 года сумма отрицательных температур воздуха ни разу не превысила 800°C в Тамбовской (кроме 2021 года) и Липецкой областях, 700°C в Воронежской и Курской, 600°C в Белгородской.

**Заключение.** На основе доступных метеорологических данных мы оценили климатические изменения параметров зимнего периода, влияющих на урожайность озимой пшеницы в областях ЦЧЭР. Среди этих параметров: средняя температура воздуха самого холодного месяца и самой холодной пятидневки, продолжительность периода между датами устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C осенью и весной, а также сумма отрицательных температур воздуха за этот период. Дополнительно мы оценили изменения дат устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C. Анализ проведен за тридцатилетний период с 1993 по 2022 год, а также за отдельные десятилетия – 1993-2002 гг., 2003-2012 гг. и 2013-2022 гг.

В результате анализа за рассматриваемый тридцатилетний период во всех пяти областях ЦЧЭР наблюдается тенденция к росту средней температуры воздуха за самый холодный месяц и пятидневку, причем если до 2003 года в больше чем в половине случаев таким месяцем был декабрь, то после он таковым практически не был. В 2003-2012 гг. наиболее холодным месяцем чаще был февраль, а последние десять лет январь. Также за тридцать рассматриваемых лет отмечается тенденция к уменьшению продолжительности периода между датами перехода температуры воздуха через 0°C. В 2003-2012 гг. такая дата осенью стала отмечаться на 11 – 15 дней позже, а в 2013-2022 гг. весной на 10 дней раньше. Изменение этих двух показателей также характеризуют уменьшение сумм отрицательных температур воздуха за период между датами устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C.

При рассмотрении отдельных десятилетий можно отметить, что в 1993-2002 гг. и 2013-2022 гг. наблюдаются схожие тенденции, что и при оценке тридцатилетнего периода. В тоже время в 2003-2012 гг. отмечена тенденция к похолоданию. Отметим также, что в трех областях в 2003-2012 гг., а в 2013-2022 гг. уже во всех пяти наблюдается положительный тренд, и как следствие тенденция к увеличению, продолжительности периода между датами устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C.

### **Библиографический список**

1. Бюллетени о состоянии сельского хозяйства [Электронный ресурс]. – Федеральная служба государственной статистики. – URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277> (дата обращения 18.09.2023).
2. Тарасова Л.Л. Оценка агрометеорологических показателей условий зимовки озимых зерновых культур в центральных черноземных областях в условиях климатических изменений // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации, 2016, № 360, с. 26-44.
3. Моисейчик В.А., Богомоллова Н.А., Страшная А.И., Максименкова Т.А. Влияние глобального изменения климата на агрометеорологические условия перезимовки и формирования урожая озимых зерновых культур в России за последние 50 лет // Труды ВНИИСХМ. – 2007. – Вып. 36. – С. 106–132.
4. Толстопятова О.С., Голованова Е.В., Толстопятов С.Н. Зависимость урожайности основных сельскохозяйственных культур Белгородской области от климатических показателей // Инновации в АПК: проблемы и перспективы, 2019, № 1(21), с. 141-147.
5. Смирнов И.А., Дронова Е.А. Оценка связи значений урожайности озимой пшеницы на территории Ростовской области с характером глобальных атмосферных циркуляций в северном полушарии Земли. // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, приуроченной к Году науки и технологий. Иркутск, 2021. С. 463-468.
6. Смирнов И.А., Дронова Е.А. Возникновение опасных агрометеорологических явлений в годы со снижением урожайности озимой пшеницы на примере Белгородской области. // Международная научная конференция молодых ученых и специалистов, посвященная 180-летию со дня рождения К.А. Тимирязева. Сборник статей. Москва, 2023. С.379-384.
7. Кеткина О.С. Возможности MS Excel для регрессионного анализа. Екатеринбург: УрФУ, 2020. 43 с.
8. Булыгина О. Н. Описание массива срочных данных об основных метеорологических параметрах на станциях России [Электронный ресурс] / О. Н. Булыгина, В. М. Веселов, В. Н. Разуваев, Т. М. Александрова // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620549.



URL: <http://meteo.ru/data/163-basic-parameters#описание-массива-данных> (Дата обращения 07.11.2023).

**CLIMATIC ASSESSMENT OF CHANGES IN WINTER  
METEOROLOGICAL PARAMETERS AFFECTING THE YIELD OF  
WINTER WHEAT IN THE CENTRAL BLACK EARTH ECONOMIC  
REGION**

I.A. Smirnov, E.A. Dronova

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,  
Moscow, ivan-2-2-99@yandex.ru, [edronova@rgau-msha.ru](mailto:edronova@rgau-msha.ru)

*Summary: based on data for the period from 1993 to 2022, changes in winter meteorological parameters affecting the yield of winter wheat in the regions of the Central Black Earth Economic Region are estimated. In particular, such indicators are considered as: the average air temperature of the coldest month and the coldest five-day period, the duration of the period between the dates of a steady transition of air temperature through 0 °C in autumn and spring, as well as the sum of negative air temperatures for this period.*

*Key words: long-term changes, air temperature, winter period, dates of transition through 0 °C trend line, CBEER.*