

Роль температурного фактора в формировании урожайности яровой твёрдой пшеницы в степной зоне Оренбургского Предуралья

В.И. Елисеев, к.с.-х.н., А.Г. Крючков, д.с.-х.н., профессор, ФГБНУ Оренбургский НИИСХ

Температурный режим при возделывании любой сельскохозяйственной культуры входит в число важнейших факторов, влияющих на прохождение ею жизненных этапов и формирование урожайности.

Значение этого фактора для формирования урожайности яровой пшеницы в условиях степной зоны Оренбургской области было показано в ряде ранее опубликованных работ [1–5]. Тем не менее проблема выявления роли температурного фактора в формировании урожайности культуры яровой твёрдой пшеницы остаётся не решённой окончательно. Региональные отделения Гидрометеоцентра не исследуют связи своих метеонаблюдений с урожайностью возделываемых культур на территориях своего обслуживания, ограничивая лишь регистрацией фактов или предположительными умозаключениями.

В связи с этим роль параметров погодных факторов в воздействии на прохождение жизненных этапов растениями остаётся недоступной земледельцу в плане выработки стратегии и тактики управления этими процессами.

Цель нашей работы состояла в выявлении зависимости урожайности яровой твёрдой пшеницы

от среднесуточных температур воздуха и их суммы за длительный период наблюдений на чернозёме обыкновенном в степной зоне Оренбургского Предуралья, установлении их параметров, вероятности проявления при выборе более обоснованных решений и разработке программ.

Материал и методы исследования. Материалом для исследования служили результаты многолетнего (1974–2015 гг.) стационарного опыта с удобрениями в 5-польном севообороте на чернозёме обыкновенном, заложенного по схеме ВИУА [6], метеоданные Оренбургского гидрометеоцентра [7]. При анализе данных использованы методы: статистический, корреляционно-регрессионный нелинейный, графический и монографический анализы [8]. Расчёты выполнены на ПЭВМ по программе Statgrafiks.

Результаты исследования. Результаты учёта урожайности за 35 лет стационарного опыта (1974–2015 гг.) показали, что она по своей величине распределяется в 5 классах (табл. 1) с колебаниями от 2,0 до 27,4 ц с 1 га (средняя – 12,5 ц с 1 га) по фону без удобрений и от 1,4 до 31,6 ц с 1 га (средняя – 14,6 ц с 1 га) на фоне с $N_{80}P_{80}K_{40}$. При этом среднесуточная t воздуха может изменяться от 24 до 17,2°C за вегетацию яровой твёрдой пшеницы.

При этом в 54,43% лет урожайность её на удобренном фоне изменялась от 15,2 до 31,6 ц с 1 га

(средняя – 20,94 ц с 1 га), тогда как без удобрения в 37,14% лет она была в пределах 15,1–27,4 ц с 1 га, составляя в среднем 17,91 ц с 1 га. Указанная урожайность формировалась при среднесуточных температурах за период посев – полная спелость от 16,4 до 20°C по неудобренному и от 16,4 до 21,2°C по удобренному фону.

По мере повышения среднесуточной температуры воздуха с 18,9 до 21,2°C по фону без удобрений и с 18,6 до 21,6°C по удобренному фону урожайность снизилась соответственно до 10,6–14,5 и 10,6–13,0 ц с 1 га. Рост среднесуточных температур с 19,2 до 23,7°C и 18,3 до 23,7°C способствовал

снижению урожайности до 5,1–9,5 и 6,0–9,8 ц с 1 га, а при 20,5–24°C и 20,8–24°C снизил её соответственно до 2,0–5,0 и 1,4–4,7 ц с 1 га.

Корреляционный анализ показал, что урожайность яровой твёрдой пшеницы находится в тесной зависимости от среднесуточной температуры воздуха за основные периоды её вегетации (табл. 2).

На фоне без удобрений корреляционные отношения составили для периодов посев – колошение – 0,930, колошение – полная спелость – 0,964 и посев – полная спелость – 0,958, а по фону N₈₀P₈₀K₄₀ соответственно 0,883, 0,931 и 0,928.

1. Среднесуточная температура воздуха за период вегетации яровой твёрдой пшеницы и её урожайность (п. Чебеньки, агрохимический стационар, 1974–2015 гг.)

Пределы класса по t воздуха, °C	Среднее значение t в классе, °C	Урожайность, ц с 1 га					Вероятность		Средняя фактическая урожайность, ц с 1 га
		до 5,0	5,1–10,0	10,1–15,0	15,1–20,0	20,1–25,0 и >	число лет	% лет	
Фон – без удобрений (период: посев – полная спелость)									
до 18,0	17,25	–	–	–	17,9(16,3), 16,4(18,3)	17,2(27,4), 17,4(20,2)	4	11,43	20,55
18,1–19,5	18,75	–	19,4(5,4), 19,2(8,6), 19,3(8,3)	18,9(13,5), 19,0(14,5), 19,2(14,5), 19,0(13,5)	18,4(17,7), 18,1(17,8), 18,6(16,2), 18,6(15,8), 18,2(16,4), 18,8(17,8), 19,2(15,2)	–	14	40,00	13,94
19,6–21,0	20,25	20,5(4,6), 20,8(3,2)	19,9(8,6), 20,6(9,5), 20,3(8,6)	19,7(10,6), 20,5(13,7), 20,0(14,1)	19,9(15,1), 20,0(18,6)	–	10	28,57	10,66
21,1–22,5	21,75	21,4(5,0), 21,1(2,0)	22,3(5,1), 21,6(8,5)	21,2(13,8)	–	–	5	14,3	6,88
22,6–24,0	23,25	24,0(2,3)	23,7(8,0)	–	–	–	2	5,7	5,15
Вероятность	число лет % лет	5 14,3	9 25,7	8 22,86	11 31,43	2 5,71	35 –	– 100	– –
Средняя урожайность, ц с 1 га		3,42	7,84	13,52	16,84	23,8	–	–	12,5
Фон – N ₈₀ P ₈₀ K ₄₀									
до 18,0	17,25	–	–	17,9(11,6)	–	17,2(31,6), 17,4(30,2), 16,4(20,2)	4	11,43	23,40
18,1–19,5	18,75	–	19,4(6,0), 18,3(9,8)	18,6(12,6), 18,9(13,0)	18,4(18,8), 18,6(17,2), 18,2(18,4), 19,0(19,9), 19,2(15,6), 19,0(18,7)	18,1(24,9), 18,8(20,6), 19,2(24,6), 19,2(20,1)	14	40,0	17,16
19,6–21,0	20,25	20,8(1,4)	20,5(7,1), 20,3(9,2)	20,6(10,6), 19,7(14,6), 19,9(12,4)	20,5(15,4)	20,0(20,6), 19,9(24,1), 20,0(20,9)	10	28,57	13,63
21,1–22,5	21,75	21,4(3,3), 22,3(4,7), 21,1(2,2)	–	21,6(11,8)	21,2(15,2)	–	5	14,29	7,44
22,6–24,0	23,25	24,0(1,6)	23,7(8,2)	–	–	–	2	5,71	4,90
Вероятность	число лет % лет	5 14,29	5 14,29	7 20,00	8 22,86	10 28,57	35 –	– 100	– –
Средняя урожайность, ц с 1 га		2,64	8,06	12,37	17,40	23,78	–	–	14,6

В соответствии с полученными уравнениями на фоне без удобрений по мере нарастания среднесуточной температуры воздуха за период посев – колошение с 15 до 23,8°C урожайность снижается с 22,9 до 6,78 ц с 1 га, а по фону с N₈₀P₈₀K₄₀ – с 27,0 до 7,25 ц с 1 га. Но если за период колошение – полная спелость среднесуточная температура воздуха возрастает с 18,4 до 26,3°C, то урожайность яровой твёрдой пшеницы снижается с 18,42 ц с 1 га до 2,18 ц с 1 га по неудобренному и с 22,4 до 2,97 ц с 1 га по удобренному фону.

При повышении среднесуточной t воздуха за период её вегетации (посев – полная спелость) с 16,4 до 24°C по фону без удобрений урожайность снижается с 24,75 до 4,07 ц с 1 га, а по удобренному фону – с 27,77 до 2,52 ц с 1 га.

Полученные уравнения в 86,78–93,02% и 77,91–86,7% случаев адекватно описывают эти зависимости.

Сумма среднесуточных температур воздуха за период вегетации яровой твёрдой пшеницы (посев – полная спелость) на чернозёме обыкновенном за 35 лет наблюдений изменялась от 1665 до

2282°C при средней величине 1848,6°C, за период посев – колошение – от 820 до 1359°C (средняя – 1105°C) и за период от колошения до полной спелости – от 415 до 1079°C (средняя – 762°C).

Повышение суммы температур с 1703 до 1950°C и с 1679 до 1950°C вызывало снижение урожайности до 10,614,5 и 11,6–14,6 ц с 1 га соответственно в 22,86 и 20,0% лет. Урожайность на уровне 5,1–9,5 и 6,0–9,8 ц с 1 га формировалась при суммах температур от 1772 до 2026°C и от 1665 до 2026°C в 22,86 и 14,29% лет. Самая низкая урожайность (2,0–5,0 и 1,4–4,7 ц с 1 га) сформировалась в пределах температур 1655÷2026°C и 1797÷2282°C соответственно по фону без удобрений и удобренному фону в 14,29 и 14,29% лет.

Группировка данных показывает, что формирование урожайности яровой твёрдой пшеницы от 15,1 до 27,4 ц с 1 га происходило в 39,99% лет при сумме температур от 1679 до 2050°C на неудобренном фоне, а в 51,42% лет – от 15,2 до 31,6 ц с 1 га при сумме температур от 1703 до 2050°C на фоне N₈₀P₈₀K₄₀ (табл. 3).

2. Зависимость урожайности яровой твёрдой пшеницы от температурного режима воздуха по основным периодам вегетации (п. Чебеньки, агрохимический стационар, 1974–2015 гг.)

Коррелируемая величина	Параметры величин (M±G)	v%	η _{yx}	F	
				факт.	Теор _{01,05}
Фон – без удобрений					
Среднесуточная t воздуха за период посев – колошение, °C (x)	$\frac{15,0-23,8}{18,5\pm 2,0}$	10,81	–	–	–
Урожайность, ц с 1 га (y)	$\frac{5,18-20,6}{12,5\pm 4,37}$	34,88	0,930	6,96	1,76
$y = 145,8942 - 12,21252x + 0,2675487x^2 \pm 1,66$ ц с 1 га, для 86,48% случаев					
Среднесуточная t воздуха за период колошение – полная спелость, °C (x ₁)	$\frac{18,4-26,3}{21,9\pm 1,9}$	8,88	–	–	–
Урожайность, ц с 1 га (y ₁)	$\frac{1,44-18,76}{12,4\pm 4,05}$	32,62	0,964	13,49	1,76
$y_1 = 4,270587 + 2,746463x_1 - 0,1074477x_1^2 \pm 1,1$ ц с 1 га, для 93,02% случаев					
Среднесуточная t воздуха за период посев – полная спелость, °C (x ₂)	$\frac{16,4-24,0}{19,7\pm 1,66}$	8,42	–	–	–
Урожайность, ц с 1 га (y ₂)	$\frac{4,6-21,2}{12,5\pm 4,85}$	38,91	0,958	11,39	1,76
$y_2 = 179,8289 - 14,05709 \cdot x_2 + 0,2805776 \cdot x_2^2 \pm 1,43$ ц с 1 га, для 91,74% случаев					
Фон – N ₈₀ P ₈₀ K ₄₀					
Среднесуточная t воздуха за период посев – колошение, °C (x ₃)	$\frac{15,0-23,8}{18,5\pm 2,00}$	10,81	–	–	–
Урожайность, ц с 1 га (y ₃)	$\frac{5,02-24,6}{14,83\pm 5,56}$	37,5	0,883	4,26	1,76
$y_3 = 165,328 - 13,61631x_3 + 0,2930579x_3^2 \pm 2,7$ ц с 1 га, для 77,91% случаев					
Среднесуточная t воздуха за период колошение – полная спелость, °C (x ₄)	$\frac{18,4-26,3}{21,9\pm 1,9}$	8,83	–	–	–
Урожайность, ц с 1 га (y ₄)	$\frac{2,28-23,42}{14,72\pm 5,02}$	34,07	0,931	7,08	1,76
$y_4 = 28,2022 + 1,184515x_4 - 0,0815057x_4^2 \pm 1,88$ ц с 1 га, для 86,7% случаев					
Среднесуточная t воздуха за период посев – полная спелость, °C (x ₅)	$\frac{16,4-24,0}{19,7\pm 1,66}$	8,42	–	–	–
Урожайность, ц с 1 га (y ₅)	$\frac{4,52-24,76}{14,78\pm 5,90}$	39,9	0,928	6,97	1,76
$y_5 = -51,96854 + \frac{1307,79}{x_5} \pm 2,23$ ц с 1 га, для 86,08% случаев					

3. Вероятность суммы среднесуточных температур воздуха за период посев—полная спелость и урожайность яровой твёрдой пшеницы (1974—2015 гг., п. Чебеньки, агрохимический стационар)

Пределы класса по ΣT, °C	Среднее значение класса, °C						Вероятность		Средняя урожайность в классе, ц с 1 га
		до 5,0	5,1–10,0	10,1–15,0	15,1–20,0	20,1–25,0 и >	число лет	% лет	
Фон – без удобрений									
до 1700		1665(4,6)	–	–	1694(16,2), 1679(15,2)	–	3	8,57	12,0
1701–1850		1797(2,0)	1772(8,5)	1703(13,5), 1809(13,7), 1800(13,8), 1809(14,5), 1803(14,5), 1708(13,5), 1763(14,1)	1854(18,6), 1823(16,4), 1794(16,3), 1752(18,3), 1769(15,2)	1723(27,4)	15	42,86	14,64
1851–2000		1881(5,0)	1986(5,4), 1873(9,5), 1949(8,6), 1915(8,6), 1990(8,0)	1950(10,6)	1873(17,7), 1879(17,8), 1935(17,8), 1986(16,0)	–	11	31,43	11,36
2001–2150		2032(3,2)	2026(5,1), 2026(8,3)	–	2013(15,1)	2050(20,2)	5	14,24	10,92
2151–2150 и >		2282(2,8)	–	–	–	–	1	2,85	–
Вероятность в классе	число лет % лет	5 14,29	8 22,86	8 22,86	12 34,28	2 5,71	35 –	– 100	– –
Средняя урожайность, ц с 1 га		3,50	7,75	13,52	16,77	23,80	–	–	12,5
Фон – N ₈₀ P ₈₀ K ₄₀									
до 1700,0		–	1665(7,1)	1679(12,6)	1694(17,2)	–	3	8,57	12,3
1701–1850		1797(2,2)	–	1772(11,8), 1703(13,0), 1794(11,6)	1809(15,4), 1800(15,2), 1809(19,9), 1803(15,6), 1708(18,7), 1823(18,4)	1703(20,9), 1824(20,6), 1752(20,2), 1769(20,1), 1723(31,6)	15	42,86	17,0
1851–2000		1881(3,3)	1986(6,0), 1949(9,2), 1990(8,2)	1915(12,4), 1950(14,6), 1915(14,0)	1873(18,8)	1879(24,9), 1935(20,6), 1986(24,6)	11	31,43	14,23
2001–2150		2032(1,4), 2026(4,7)	2026(9,8)	–	–	2013(24,1), 2050(30,2)	5	14,29	14,04
2151–2300		2282(1,6)	–	–	–	–	1	2,85	1,6
Вероятность в классе	число лет % лет	5 14,29	5 14,29	7 20,00	8 22,86	10 28,56	35 –	– 100	– –
Средняя урожайность, ц с 1 га		2,70	8,06	12,86	17,28	23,81	–	–	14,6

Корреляционно-регрессионный анализ позволил установить, что сумма температур воздуха связана с урожайностью яровой твёрдой пшеницы значительно меньше, чем среднесуточная температура воздуха как за весь период вегетации ($\eta_{yx} = 0,782$ и $0,604$), так и за первую её половину посев—колошение ($\eta_{yx} = 0,787$ и $0,760$). Связи с суммой температур 2-й половины вегетации колошение—полная спелость были на уровне средних ($\eta_{yx} = 0,550$ и $0,423$) и описать их достоверными уравнениями не удалось (табл. 4).

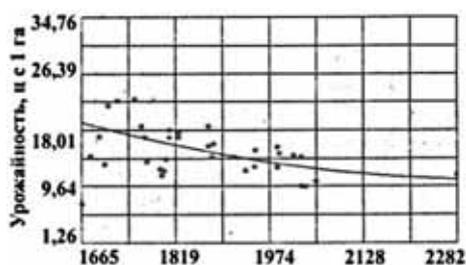
Графический анализ полученных уравнений свидетельствует о том, что по мере увеличения сум-

мы температур воздуха с 1665 до 2282°C за период вегетации яровой твёрдой пшеницы урожайность её снижалась на фоне без удобрений с 18,48 до 7,82 ц с 1 га, а по удобренному фону – с 19,14 до 10,66 ц с 1 га. Подобная же картина наблюдалась и за период посев—колошение. Урожайность на фоне без удобрений падала с 14,85 до 6,79 ц с 1 га при наращивании суммы температур воздуха с 820 до 1359°C и с 19,12 до 7,55 ц с 1 га по удобренному фону (рис.).

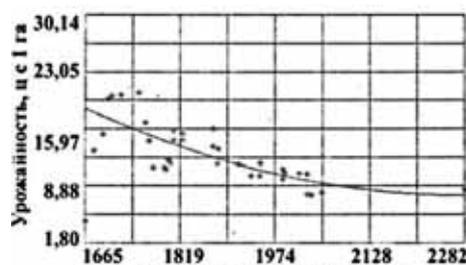
Выводы. Подводя итоги выполненного исследования, можно заключить, что на почвах чернозёма обыкновенного территории изученного

4. Зависимость урожайности яровой твёрдой пшеницы от суммы температур воздуха за основные периоды её вегетации (п. Чебеньки, агрохимический стационар, 1974–2015 гг.)

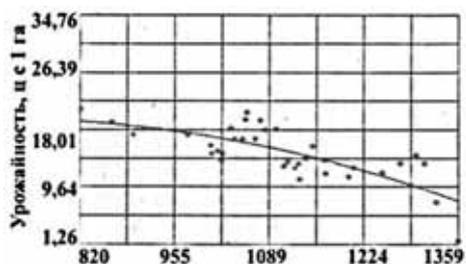
Коррелируемая величина	Параметры величин (M±G)	v%	η _{yx}	F	
				факт.	Теор _{P01,05}
Фон – без удобрений					
Сумма среднесуточных t воздуха за период посев – колошение, °C (x)	$\frac{820-1359}{1105 \pm 125,8}$	11,38	–	–	–
Урожайность, ц с 1 га (y)	$\frac{4,12-16,38}{12,39 \pm 2,69}$	21,74	0,787	2,47	1,76
$y = -8,078555 + 5,387272E - 02x - 3,159028E - 05x^2 \pm 1,71$ ц с 1 га, для 61,93% случаев					
Сумма среднесуточных t воздуха за период колошение – полная спелость, °C (x ₁)	$\frac{415-1079}{762 \pm 144,3}$	18,93	–	–	–
Урожайность, ц с 1 га (y ₁)	$\frac{5,7-16,5}{12,33 \pm 2,48}$	20,14	0,550	1,35	1,46
Функция не удовлетворяет критерию Фишера					
Сумма среднесуточных t воздуха за период посев – полная спелость, °C (x ₂)	$\frac{1665-2032}{1848,6 \pm 112}$	6,07	–	–	–
Урожайность, ц с 1 га (y ₂)	$\frac{4,6-20,48}{12,97 \pm 3,70}$	28,55	0,782	2,41	1,76
$y_2 = 156,6524 - 0,1309194x_2 + 2,879044E - 05x_2^2 \pm 2,33$ ц с 1 га, для 61,08% случаев					
Фон – N ₈₀ P ₈₀ K ₄₀					
Сумма среднесуточных t воздуха за период посев – колошение, °C (x ₃)	$\frac{820-1359}{1105 \pm 125,8}$	11,38	–	–	–
Урожайность, ц с 1 га (y ₃)	$\frac{1,8-20,54}{14,67 \pm 3,81}$	25,98	0,760	2,23	1,76
$y_3 = 5,121321 + 4,055481E - 02x_3 - 2,852367E - 05x_3^2 \pm 2,55$ ц с 1 га, для 57,82% случаев					
Сумма среднесуточных t воздуха за период колошение – полная спелость, °C (x ₄)	$\frac{715-1079}{762,1 \pm 144,3}$	18,93	–	–	–
Урожайность, ц с 1 га (y ₄)	$\frac{6,9-21,86}{14,64 \pm 3,26}$	22,27	0,423	1,14	1,46
Функция не удовлетворяет критерию Фишера					
Сумма среднесуточных t воздуха за период посев – полная спелость, °C (x ₅)	$\frac{1665-2032,0}{1848,5 \pm 112,2}$	6,07	–	–	–
Урожайность, ц с 1 га (y ₅)	$\frac{7,10-22,6}{14,95 \pm 3,54}$	23,65	0,604	1,48	1,46
$y_5 = 108,6536 - 8,295757E - 02x_5 + 1,753593E - 05x_5^2 \pm 2,79$ ц с 1 га, для 36,48% случаев					



Сумма температур за период: посев – полная спелость, °C

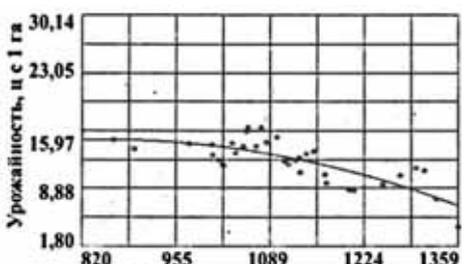


Сумма температур за период: посев – полная спелость, °C



Сумма температур за период: посев – колошение, °C

Фон – удобренный



Сумма температур за период: посев – колошение, °C

Фон – без удобрений

Рис. – Зависимость урожайности яровой твёрдой пшеницы от суммы температур воздуха за разные периоды вегетации (1974–2015 гг.)

землепользования в степной зоне Оренбургского Предуралья среднесуточная температура воздуха за период вегетации яровой твёрдой пшеницы изменяется в пределах от 16,4 до 24°C. Сумма температур колеблется по годам от 1665 до 2282°C. Урожайность её при этом варьирует от 1,4 до 31,6 ц с 1 га, составляя за 35 лет учётов (1974–2015 гг.) 12,5 ц с 1 га на фоне без удобрений и 14,6 ц с 1 га на фоне $N_{80}P_{80}K_{40}$.

Уровень урожайности этой культуры определяется влиянием среднесуточной температуры воздуха сильнее и последовательнее в сравнении с влиянием суммы его температур.

В соответствии с полученными уравнениями оптимальными среднесуточными температурами являются для периода посев–колошение – 15°C, колошение–полная спелость – 18,4°C и посев – полная спелость – 16,4°C. Её повышение до 23,8°C; 26,3°C и 24°C по периодам может снизить урожайность яровой твёрдой пшеницы соответственно с 22,4–27,0; 18,42–22,4 и с 24,75–27,77 ц с 1 га соответственно до 6,78–7,25; 2,18–2,97 и 4,07–2,52 ц с 1 га на фонах без удобрения и удобрением $N_{80}P_{80}K_{40}$.

Полученные данные дают представление о параметрах действующих величин среднесуточной

температуры воздуха на протяжении многолетнего периода и могут представлять интерес при планировании урожайности яровой твёрдой пшеницы в местном климате, остерегаясь принятия необоснованных технологических и управленческих решений.

Литература

1. Крючков А.Г. Основные принципы и методология агроэкологического районирования зерновых культур в степи Южного Урала. М.: Вестник Российской академии с.-х. наук, 2006. 704 с.
2. Крючков А.Г., Япиев И.Ф., Крючков А.А. Закономерности температурного, водного и пищевого режимов метрового слоя под посевами яровой твёрдой пшеницы // Наука и хлеб (Вопросы теории и практики): сб. научных трудов / Под общ. ред. проф., докт. с.-х. наук А.Г. Крючкова. Оренбург, 1999. Вып. 6. С. 169–181.
3. Крючков А.Г. К вопросу о прогнозе летнего максимума температур воздуха // Наука и хлеб (Вопросы теории и практики): сб. научных трудов. Оренбург, 2001. Вып. 7. С. 32–56.
4. Крючков А.Г. Моделирование высокопродуктивных посевов в степном регионе Южного Урала. Оренбург, 2014. 517 с.
5. Крючков А.Г., Максюттов Н.А. Погодные факторы и роль предшественников в повышении урожайности яровой твердой пшеницы // Аграрная наука. 2015. № 11. С. 7–11.
6. Методические указания по проведению полевых опытов с удобрениями географической сети на XII пятилетку (1986–1990 гг.). М., 1985. 153 с.
7. Материалы бюллетеней Оренбургского гидрометеоцентра за 1974–2015 гг.
8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.