

## Оценка влияния погодных условий и минерального питания на урожайность яровой сильной пшеницы в Оренбургском Предуралье

Г.Н. Сандакова, к.т.н., В.И. Елисеев, к.с.-х.н.,  
ФГБНУ Оренбургский НИИСХ

Оренбургская область в силу специфики погодных условий является одним из основных регионов по производству зерна яровой сильной пшеницы [1].

Проблема влияния минерального питания на формирование урожайности яровой мягкой пшеницы находится в центре внимания оренбургских учёных, разным аспектам его применения посвящены многие работы, однако все результаты настоящего исследования были получены в краткосрочных опытах [2–5].

Решить поставленную проблему возможно лишь с помощью длительных стационарных опытов, которые ведутся в центральной зоне области с 1972 г. и по настоящее время, на основе точного расчёта с применением математического моделирования и вычислительной техники. Имеются работы по изучению влияния погодных условий на урожайность яровой мягкой пшеницы с применением методов математического моделирования [6–9], но не изучена проблема совместного влияния погодных факторов и агротехнических приёмов возделывания, в частности минерального питания, на урожайность яровой мягкой пшеницы, поиску количественных связей между данными факторами.

Цель исследования заключалась в выявлении наиболее оптимальных параметров погодных условий и фонов минеральных удобрений, способствующих формированию высокой урожайности яровой мягкой пшеницы.

**Материал и методы исследования.** Работа базировалась на многолетних (1976–2015 гг.) экспериментальных данных по урожайности, полученных в стационарном опыте, в пятипольном зернопаровом севообороте по схеме:

1. Без удобрений (контроль);
2.  $N_{30}P_{30}$ ;
3.  $N_{30}K_{20}$ ;
4.  $P_{30}K_{20}$ ;
5.  $N_{30}P_{30}K_{20}$ ;
6.  $N_{60}P_{60}K_{40}$ ;
7.  $N_{15}P_{15}K_{10}$ ;
8.  $N_{60}P_{30}K_{20}$ ;
9.  $N_{30}P_{60}K_{20}$ ;
10.  $N_{60}P_{260}K_{140}$ .

Чередование культур в севообороте было следующее: пар, озимая рожь, яровая твёрдая пшеница, просо, яровая мягкая пшеница.

Почвы представлены чернозёмом обыкновенным среднесуглинистым, тяжелосуглинистым с

содержанием 4,7–5,5% гумуса в слое 0–30 см, подвижного фосфора – 2,3–2,8 мг, обменного калия – 26,7–38,4 мг на 100 г почвы.

Повторность вариантов четырёхкратная, общая площадь делянки составляла 450 м<sup>2</sup> (7,5×60 м), учётная – 300 м<sup>2</sup>.

Под вспашку вносили мочевины, двойной гранулированный суперфосфат и хлористый калий.

В опыте применяли общепринятую для центральной зоны области агротехнику.

Наблюдения и исследования проводились по методике Б.А. Доспехова и другим методикам, принятым в агрохимии [10].

Для исследования были привлечены агрометеорологические данные Оренбургского областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за тот же период времени.

Математическая обработка урожайных данных проведена по Б.А. Доспехову [10]. Связь урожайности с погодными факторами и удобрениями осуществляли методом нелинейного корреляционного и множественного регрессионного анализов на ПЭВМ с помощью прикладных программ Excel и Statistika.

**Результаты исследования.** Формирование урожайности яровой сильной пшеницы в центральной зоне области проходило в основном в условиях засушливых – 21% лет (ГТК=0,71 ед.) и очень засушливых – 52% лет (ГТК=0,37 ед.).

Колебания погоды привели к высокой вариативности ( $V=44,9\%$ ) урожайности по годам. При среднемноголетнем её значении на контроле  $13,53 \pm 5,99$  ц с 1 га урожайность изменялась от 3,4 ц с 1 га в крайне засушливом 2010 г. (ГТК=0,08 ед.) до 28,0 ц с 1 га в засушливом 1976 г. (ГТК=0,66, запас влаги к севу 146 мм). На удобренном фоне среднемноголетняя урожайность в различные по погодным условиям годы составила  $16,50 \pm 7,01$  ц с 1 га и превысила контроль на 3,14 ц с 1 га. За 34 года исследований среди изученных фонов минерального питания наибольшей урожайностью выделились следующие варианты:  $N_{30}P_{30}K_{20}$  (17,38 ц с 1 га, прибавка 4,02 ц с 1 га, или 30,05%) и  $N_{60}P_{30}K_{20}$  (17,18 ц с 1 га, прибавка 3,82 ц с 1 га, или 28,60%).

Следующая группа вариантов –  $N_{30}P_{30}$  (16,32 ц с 1 га);  $N_{60}P_{60}K_{40}$  (16,66 ц/га);  $N_{15}P_{15}K_{10}$  (16,87 ц/га);  $N_{30}P_{60}K_{20}$  (16,74 ц/га);  $N_{60}P_{260}K_{140}$  (16,85 ц/га) незначительно уступила указанным выше вариантам по уровню прибавки урожайности к контролю – 2,96; 3,30; 3,51; 3,38; 3,49 ц/га, или 22,16; 24,70; 26,24; 25,29; 26,11% соответственно.

У третьей группы вариантов –  $N_{30}K_{20}$  (15,49 ц/га);  $P_{30}K_{20}$  (15,05 ц/га) прибавки урожайности к кон-

1. Зависимость урожайности яровой сильной пшеницы от гидротермического коэффициента (ГТК) периода вегетации в Оренбургском Предуралье (1976–2015 гг.)

№	Коррелируемая величина	Параметры величин (M±G)	Коэфф. вариации, V, %	$\eta_{yx}$	F	
					факт.	теор.
Посев – колошение						
1	Гидротермический коэффициент (ГТК) ( $x_1$ )	$\frac{0,02-2,00}{0,68\pm 0,38}$	56,43	–	–	–
2	Урожайность, ц/га ( $y_1$ )	$\frac{6,02-19,94}{13,59\pm 3,52}$	25,89	0,87	2,28	1,76
$Y_1 = 5,32 + 20,96x_1 - 9,89(x_1)^2 \pm 2,33$ ц/га, для 75,69% случаев						
Колошение – полная спелость						
3	Гидротермический коэффициент (ГТК) ( $x_2$ )	$\frac{0,04-1,79}{0,52\pm 0,44}$	84,83	–	–	–
4	Урожайность, ц/га ( $y_2$ )	$\frac{8,18-19,32}{13,40\pm 3,41}$	25,43	0,94	3,11	1,76
$Y_2 = 7,81 + 19,09x_2 - 9,44(x_2)^2 \pm 1,93$ ц/га, для 88,36% случаев						
Посев – полная спелость						
5	Гидротермический коэффициент (ГТК) ( $x_3$ )	$\frac{0,08-1,34}{0,62\pm 0,31}$	50,25	–	–	–
6	Урожайность, ц/га ( $y_3$ )	$\frac{7,58-19,90}{13,37\pm 3,79}$	28,32	0,93	2,99	1,76
$Y_3 = 1,60 + 36,15x_3 - 22,23(x_3)^2 \pm 2,19$ ц/га, для 86,49% случаев						

тролю были ещё ниже и составили соответственно 2,13; 1,69 ц/га, или 15,92; 12,66%.

В годы очень сильных засух (1988, 2010, 2012), на которые пришлось 9% лет, урожайность на контроле формировалась в пределах 3,4–6,1 ц/га при среднем значении 4,87±1,37 ц/га, а её снижение против среднемноголетней составляло 55–75%. На удобренных фонах урожайность была выше контроля – 6,60±2,37 ц/га, прибавка к контролю составляла 1,73 ц/га, т.е. удобрения ослабили действие засухи.

В годы сильных засух (1981, 1995, 1998, 2014) (16% лет) урожайность на контроле колебалась от 7,00 до 8,20 ц/га при среднем значении 7,50±0,53 ц/га, а её снижение против среднемноголетней составляло 35–48%. На всех вариантах удобренных фонов урожайность была выше контроля – 9,35±0,97 ц/га, а прибавка к контролю составляла 1,85 ц/га, т.е. удобрения также сыграли положительную роль в такие годы.

В годы очень сильных и сильных засух наблюдался повышенный температурный режим воздуха на протяжении всего периода вегетации (посев – полная спелость). Средние и максимальные температуры за весь период вегетации в такие годы превысили среднемноголетние (19,75±1,62 и 28,13±3,69°C) и составили соответственно 21,29±1,49 и 30,93±4,07°C, в 2010 г. они повышались до 23,92 и 35,72°C.

Осадков за период вегетации яровой мягкой пшеницы (посев – полная спелость) в годы очень сильных и сильных засух выпало 47 и 55 мм соответственно, что составляло 41 и 49% от среднемноголетних (113±56 мм).

Гидротермический коэффициент за период вегетации имел очень низкие значения (ГТК=0,22

и 0,29 ед. соответственно) и характеризовал такие годы как очень засушливые.

В годы с большей влагообеспеченностью вегетационного периода – 1978 (ГТК=0,95) и 1986 (ГТК=0,82) была получена высокая урожайность – 21,0; 15,6 ц/га на контроле и соответственно на удобренном фоне – 26,74; 21,4 ц/га. Такие годы характеризовались пониженным температурным режимом за период вегетации – 17,06 и 17,13°C соответственно при среднемноголетней 19,75°C и повышенным количеством осадков – 163 и 144 мм при среднемноголетнем 113 мм.

В связи с этим важно было оценить роль влагообеспеченности по ГТК в формировании урожайности, выявить их параметры и найти величины, оптимальные для формирования высокой урожайности мягкой пшеницы.

Поиск количественных связей урожайности с ГТК методом нелинейного корреляционно-регрессионного анализа позволил получить математические (регрессионные) модели «ГТК – урожайность» яровой сильной пшеницы по периодам вегетации и в целом за период вегетации. Урожайность брали на контроле, чтобы исключить влияние удобрений.

При рассмотрении связей урожайности с ГТК установлено существование сильных зависимостей между этими факторами ( $\eta_{yx} = 0,87-0,94$ ), которые описываются уравнениями регрессии в 75–88% случаев.

Анализ полученных зависимостей (табл. 1) позволил выявить, что максимальная теоретическая урожайность (16,29–17,47 ц/га) сформировалась при ГТК первого периода вегетации (посев – колошение) – 1,06, второго периода (колошение – полная спелость) – 1,01 и в целом за период вегетации (посев – полная спелость) – 1,03 ед.

2. Регрессионные модели совместного влияния погодных факторов и минеральных удобрений на урожайность яровой сильной пшеницы в период посев – колошение в центральной зоне Оренбургской области (1976–2015 гг.)

Независимая переменная	Коэффициент регрессии	Стандартная ошибка	T-значение	Уровень значимости	β-коэффициент
Посев – колошение					
Свободный член	53,48	4,77	11,21	0,00	–
Средняя температура воздуха, (x <sub>1</sub> )	-1,27	0,31	-4,13	0,00	-0,33
Средний дефицит влажности воздуха, мбар (x <sub>2</sub> )	-0,78	0,22	-3,55	0,00	-0,31
Суммарная влага, мм (x <sub>3</sub> )	-0,02	0,01	-2,24	0,00	-0,13
Контроль (без удобрения) (x <sub>4</sub> )	-3,08	1,05	-2,94	0,00	-0,13
$Y_1 = 53,48 - 1,27x_1 - 0,78x_2 - 0,02x_3 - 3,08x_4$ (контроль) ± 5,72 ц/га					
Свободный член	53,25	4,83	11,03	0,00	–
Средняя температура воздуха, (x <sub>1</sub> )	-1,27	0,31	-4,08	0,00	-0,33
Средний дефицит влажности воздуха, мбар (x <sub>2</sub> )	-0,78	0,22	-3,50	0,00	-0,31
Суммарная влага, мм (x <sub>3</sub> )	-0,02	0,01	-2,21	0,00	-0,13
N <sub>30</sub> K <sub>20</sub> (x <sub>4</sub> )	-0,79	1,06	-2,74	0,02	-0,03
$Y_2 = 53,25 - 1,27x_1 - 0,78x_2 - 0,02x_3 - 0,79x_4$ (N <sub>30</sub> K <sub>20</sub> ) ± 5,79 ц/га					
Свободный член	53,30	4,82	11,05	0,00	–
Средняя температура воздуха, (x <sub>1</sub> )	-1,27	0,31	-4,09	0,00	-0,33
Средний дефицит влажности воздуха, мбар (x <sub>2</sub> )	-0,78	0,22	-3,51	0,00	-0,31
Суммарная влага, мм (x <sub>3</sub> )	-0,02	0,01	-2,22	0,00	-0,13
P <sub>30</sub> K <sub>20</sub> (x <sub>4</sub> )	-1,27	1,06	-2,20	0,03	-0,06
$Y_3 = 53,30 - 1,27x_1 - 0,78x_2 - 0,02x_3 - 1,27x_4$ (P <sub>30</sub> K <sub>20</sub> ) ± 5,78 ц/га					
Свободный член	53,04	4,82	11,00	0,00	–
Средняя температура воздуха, (x <sub>1</sub> )	-1,27	0,31	-4,09	0,00	-0,33
Средний дефицит влажности воздуха, мбар (x <sub>2</sub> )	-0,78	0,22	-3,51	0,00	-0,31
Суммарная влага, мм (x <sub>3</sub> )	-0,02	0,01	-2,22	0,00	-0,13
N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>20</sub> (x <sub>4</sub> )	1,31	1,06	2,24	0,04	0,06
$Y_4 = 53,04 - 1,27x_1 - 0,78x_2 - 0,02x_3 + 1,31x_4$ (N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>20</sub> ) ± 5,78 ц/га					
Свободный член	53,06	4,82	11,00	0,00	–
Средняя температура воздуха, (x <sub>1</sub> )	-1,27	0,31	-4,09	0,00	-0,33
Средний дефицит влажности воздуха, мбар (x <sub>2</sub> )	-0,78	0,22	-3,51	0,00	-0,31
Суммарная влага, мм (x <sub>3</sub> )	-0,02	0,01	-2,22	0,00	-0,13
N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>20</sub> (x <sub>4</sub> )	1,10	1,06	2,23	0,03	0,05
$Y_5 = 53,06 - 1,27x_1 - 0,78x_2 - 0,02x_3 + 1,10x_4$ (N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>20</sub> ) ± 5,78 ц/га					

Снижение ГТК в первый период вегетации до 0,02, во второй период вегетации – до 0,04 и в целом за период вегетации – до 0,08 способствует формированию минимальной урожайности – 5,73; 8,56; 6,35 ц/га соответственно.

Для выявления совместного влияния на урожайность погодных факторов и удобрений был применён метод множественного регрессионного анализа.

Уравнения множественной регрессии, описывающие совместное влияние на урожайность погодных факторов – средней температуры воздуха, среднего дефицита влажности воздуха, суммарной влаги (сумма запасов продуктивной влаги к севу и осадков), различных доз и соотношений минеральных удобрений в первый период вегетации (посев – колошение), показали, что во всех вариантах наиболее тесную обратную связь урожайности со средней температурой воздуха (β = -0,33) и средним дефицитом влажности воздуха (β = -0,31), менее тесную отрицательную связь (β = -0,13) – (-0,06) с контролем и парными сочетаниями элементов питания P<sub>30</sub>K<sub>20</sub> и N<sub>30</sub>K<sub>20</sub> (табл. 2).

Менее тесная положительная связь (β = 0,01–0,03) обнаружена в вариантах с азотом и фосфором N<sub>30</sub>P<sub>30</sub>, половинной дозой элементов питания

N<sub>15</sub>P<sub>15</sub>K<sub>10</sub>, двойной дозой N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>, различными дозами полного минерального удобрения N<sub>30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>20</sub>, N<sub>60</sub>P<sub>260</sub>K<sub>140</sub>.

Наибольшее влияние на формирование урожайности совместно с погодными факторами оказывают минеральные удобрения N<sub>30</sub>P<sub>30</sub>K<sub>20</sub> и N<sub>60</sub>P<sub>30</sub>K<sub>20</sub>. С вероятностью 62% можно утверждать, что в первый период вегетации (посев – колошение) снижение средней температуры воздуха на 1°С, среднего дефицита влажности на 1 мбар привело к повышению урожайности на 1,27–0,78 ц/га соответственно, а каждый кг д.в./га данных удобрений совместно со средней температурой, средним дефицитом влажности воздуха, суммарной влагой способны увеличить урожайность яровой сильной пшеницы на 1,31; 1,10 ц/га соответственно.

Удобрения P<sub>30</sub>K<sub>20</sub> и N<sub>30</sub>K<sub>20</sub> совместно с погодными факторами снижают урожайность в засушливые годы на 1,27; 0,79; ц/га, а отсутствие удобрения (контроль) – на 3,08 ц/га.

**Вывод.** Для повышения стабильности производства сильной пшеницы и эффективности внедряемых агротехнических мероприятий, в частности минерального питания, необходимо учитывать особенности погоды предстоящего

сезона, разработанные регрессионные модели «погода – урожайность», «погода – минеральные удобрения – урожайность» могут быть применены на практике для прогноза урожайности яровой мягкой пшеницы в засушливой степи Оренбургской области.

### Литература

1. Сандакова Г.Н., Крючков А.Г. Научное обоснование зон оптимального размещения производства и глубокой переработки высококачественного зерна яровой пшеницы в степи Южного Урала. Оренбург, 2012. 222 с.
2. Мушинская Р.С. О припосевном удобрении яровой пшеницы // Материалы и тезисы VII конференции по химизации сельского хозяйства Оренбургской области. Оренбург, 1966.
3. Андреева В.М. Урожай и качество зерна твёрдой яровой пшеницы в зависимости от минеральных удобрений // Труды Оренбургской областной государственной сельскохозяйственной станции: сб. Челябинск: Южно-Уральское кн. изд-во, 1972. Вып. № 3.
4. Ряховский А.В., Батурин И.А., Березнев А.П. Агрономическая химия в приложении к условиям степных районов Российской Федерации. Оренбург, 2004. С. 283.
5. Крючков А.Г., Елисеев В.И., Абдрашитов Р.Р. Удобрение яровой твёрдой пшеницы и её урожайность в Оренбургском Предуралье // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2012. № 1. С. 53–57.
6. Сандакова Г.Н. Динамика погодных факторов и их вероятность для формирования зерна яровой сильной пшеницы с высоким содержанием клейковины в центральной зоне Оренбургской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 5 (61). С. 18–22.
7. Сандакова Г.Н., Крючков А.Г. Запасы влаги к севу, осадки и урожайность яровой пшеницы // Наука и хлеб (Вопросы теории и практики): сб. науч. работ. Оренбург, 1999. Вып. 6. С. 87–111.
8. Долгалев М.П., Тихонов В.Е. Адаптивная селекция яровой пшеницы в Оренбургском Приуралье. Оренбург, 2005. 290 с.
9. Крючков А.Г. Основные принципы и методология агроэкологического районирования зерновых культур. М., 2006. 704 с.
10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.