

# Модели погодных условий и агротехнических приёмов возделывания для формирования зерна яровой мягкой пшеницы с высоким содержанием клейковины в центральной зоне Оренбургской области

*Г.Н. Сандакова, к.т.н., ФГБНУ Оренбургский НИИСХ*

Своеобразный комплекс белковых веществ – глиадины и глютеина пшеничного зерна, называемый клейковиной, является важнейшим фактором высокого хлебопекарного качества пшеничной муки [1]. Содержание сырой клейковины в зерне пшеницы – один из основных показателей действующего в нашей стране ГОСТа Р 52554-2006, согласно которому ограничительные нормы для сильной пшеницы составляют не менее 28% (1-й и 2-й класс стандарта) [2].

Природно-климатические условия Оренбургской области благоприятны для производства яровой сильной пшеницы, обладающей высокими технологическими и пищевыми достоинствами. Современное состояние производства в области характеризуется сокращением посевных площадей сильной пшеницы и снижением её качества. Так, по данным ФГБУ «Оренбургский референтный центр Россельхознадзора», в 2015 г. посевные площади сильной пшеницы составили 266 тыс. га, т.е. по сравнению с 2002 г. сократились в 4 раза. Произошли изменения в структуре посевов яровой мягкой пшеницы, в ней сократилась доля сильной с 96,0 (1991–1995 гг.) до 28% (2015 г.) и возросла доля ценной с 3,8 до 28,0% и прочих сортов с 0,2 до 44%, что негативно отразилось на качестве зерна. 58% партий зерна яровой мягкой пшеницы сильных сортов в области содержат клейковину ниже 28%, т.е. не соответствуют требованиям ГОСТа, предъявляемым сильным пшеницам [3]. Поэтому одной из основных задач сельхозпроизводителей региона является наращивание производства сильной пшеницы и улучшение её качества.

В связи с этим выявление роли климатических факторов и агротехнических приёмов в формировании зерна яровой мягкой пшеницы с высоким содержанием клейковины (28% и более), их совместного влияния на данный показатель качества, а также разработка математических моделей «погода – содержание клейковины» в зависимости от агротехнических приёмов возделывания в условиях Оренбургской области приобретает особую важность. Работ по моделированию показателей качества, в частности содержания клейковины, в связи с погодными условиями и агротехническими приёмами немного, а в Оренбургской области их практически нет [4–9].

**Материал и методы исследования.** Для исследования были использованы материалы Государственной хлебной инспекции по Оренбургской

области по обследованию качества зерна яровой мягкой пшеницы сильного сорта Саратовская 42 за 1966–2006 гг. (с 2007 г. обследования зерна Государственной хлебной инспекцией не проводятся), материалы гидрометеостанций (АГМС г. Оренбурга и «Чебеньки») за период май – август 1966–2014 гг. и данные полевых опытов по технологии выращивания яровой мягкой пшеницы, проведённые на базе ОПХ «Урожайное» Оренбургского НИИСХ. Условия вегетации яровой мягкой пшеницы соответствовали засушливому типу степной зоны.

Поиск связей содержания клейковины в зерне с агрометеорологическими факторами и агротехническими приёмами возделывания яровой мягкой пшеницы, разработка моделей (регрессионных) осуществлены методом нелинейного корреляционно-регрессионного и множественного регрессионного анализов на ПЭВМ с помощью прикладных программ Excel, Statistika.

**Результаты исследования.** В условиях степной зоны Оренбургской области на формирование содержания клейковины яровой мягкой пшеницы наибольшее влияние оказывают погодные условия, на их долю приходится 76–90% общей дисперсии. Результаты моделированных связей содержания клейковины с погодными факторами в разрезе месяцев вегетационного периода представлены графически (рис.).

На основании полученных регрессионных уравнений и их графического анализа были определены параметры погодных факторов за изученный период времени, наиболее существенно влияющие на формирование зерна с высоким содержанием клейковины (28% и более). В мае таковыми следует считать повышенный температурный режим со средней температурой воздуха не менее 15,7°C, минимальной – не менее 8,3°C, максимальной – не менее 22,9°C, средний дефицит влажности воздуха – не менее 11,5 мбар, гидротермический коэффициент – не более 0,47 ед. Наибольшему содержанию клейковины (28,8–30,4%) способствуют максимальные значения изученных температурных факторов и среднего дефицита влажности воздуха и пониженные значения гидротермического коэффициента. В июне формированию содержания клейковины 28% и более способствует сухая погода и повышенный температурный режим: средняя температура воздуха не менее 20,6°C; минимальная – не менее 13,8°C; максимальная – не менее 27,4°C; осадки – не более 24,5 мм; средняя относительная влажность воздуха не более 55%;

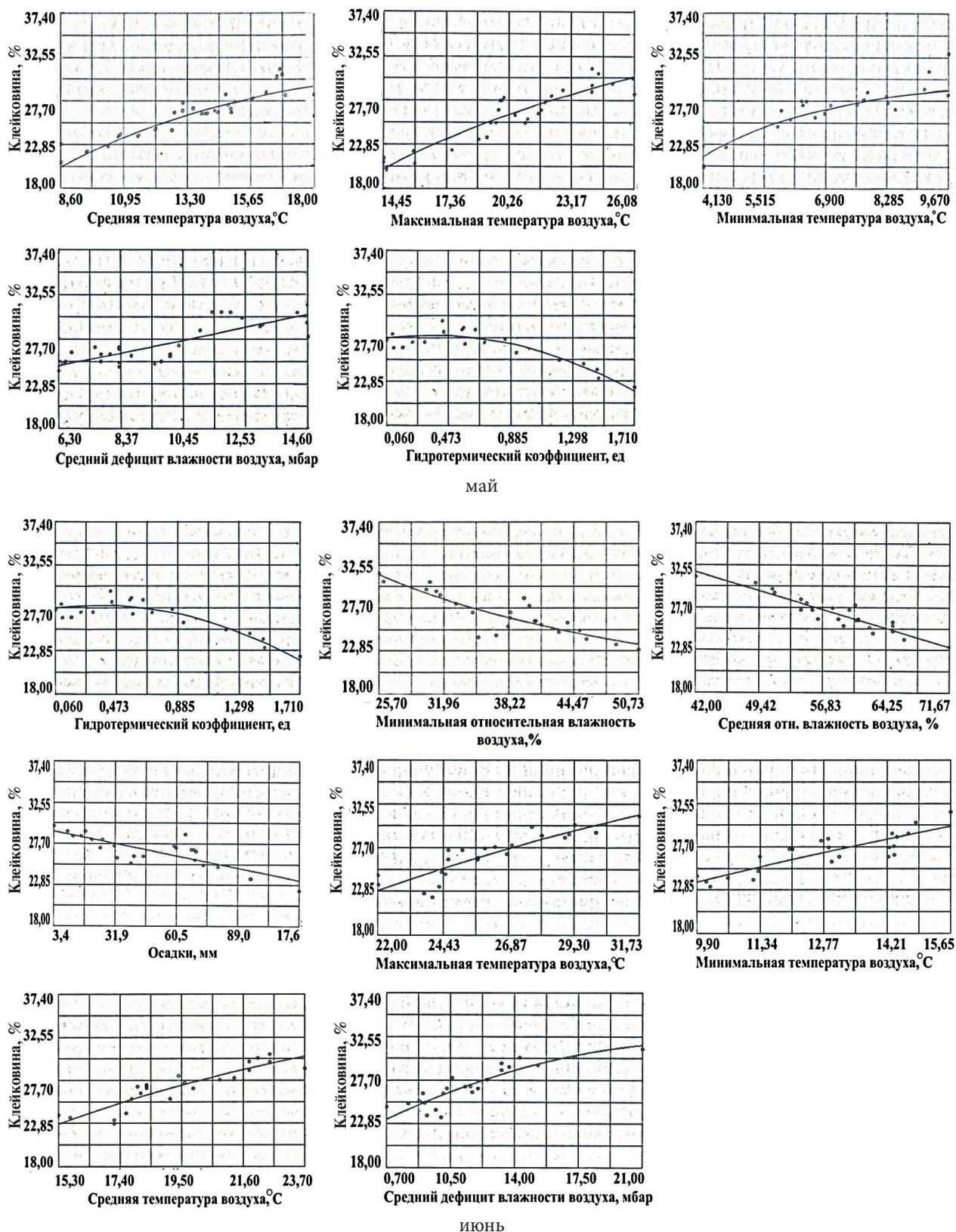


Рис. – Зависимость содержания клейковины яровой мягкой пшеницы от погодных условий в центральной зоне Оренбургской области

минимальная – не более 34%; средний дефицит влажности воздуха – не менее 13,1 мбар; гидротермический коэффициент – не более 0,56 ед. Наибольшему содержанию клейковины (28,2–31,7%) способствуют максимальные значения изученных

температурных факторов, среднего дефицита влажности воздуха и минимальные значения осадков, средней и минимальной относительной влажности воздуха, и гидротермического коэффициента. В июле формирование зерна с высоким содержа-

нием клейковины происходит при сухой погоде и повышенном температурном режиме воздуха, средняя температура воздуха – не менее 22,1°С, минимальная – не менее 11,4°С, максимальная – не менее 28,8°С, при средней относительной влажности воздуха – не более 63%, среднем дефиците влажности воздуха – не менее 13,8 мбар. Налив зерна при максимальных значениях температуры воздуха, среднего дефицита влажности и минимальных значениях относительной влажности воздуха способствует накоплению клейковины до 29,4–30,7%. В августе созревание зерна с высоким содержанием клейковины происходит при сухой, тёплой погоде, средней температуре воздуха – не менее 19,0°С, максимальной – не менее 26,4°С, средней относительной влажности воздуха – не более 55%, минимальной – не более 34%. В период посев – полная спелость повышению содержания клейковины благоприятствуют средняя относительная влажность воздуха в пределах 52–57%, минимальная – 31–38%, средний дефицит влажности воздуха – 8,5–9,5 мбар, запас продуктивной влаги к севу 108–139 мм, потребность в воде – 379–428 мм, коэффициент влагообеспеченности – 0,37–0,66 ед.

Множественный регрессионный анализ за период вегетации яровой мягкой пшеницы (посев –

полная спелость) показал совокупное влияние на формирование клейковины в зерне ряда погодных факторов, которое описывается уравнением вида:

$$Y = 112,390 - 0,193x_1 - 1,224x_2 - 0,558x_3 \pm 1,062\%$$

где  $x_1$  – продолжительность периода вегетации, дни;

$x_2$  – максимальная температура воздуха, °С;

$x_3$  – средняя относительная влажность воздуха, %.

Из уравнения следует, что в период посев – полная спелость при данном сочетании погодных факторов в изученных пределах снижение максимальной температуры на 1°С (в пределах 24,9×29,4°С) и относительной влажности воздуха на 1% (в изученных пределах 53×64%), а также сокращение периода вегетации на 1 день (84×98 дней) приводит к повышению содержания клейковины на 0,78; 0,38; 1,12% соответственно. Данные погодные факторы детерминируют 78% дисперсии клейковины, оставшаяся часть дисперсии приходится на невыявленные факторы и ошибки измерения.

Было установлено, что на формирование высокого содержания клейковины (28% и более) оказывают совместное влияние погодные условия

1. Множественные регрессионные модели совместного влияния погодных факторов и разных сроков сева на содержание клейковины яровой мягкой пшеницы в период колошение – молочная спелость в центральной зоне Оренбургской области

Независимая переменная (погодные и абиотические факторы)	Коэффициент регрессии	Стандартная ошибка	T-значе- ние	Уровень значимости	β- коэффици- циент
<b>Первый срок сева</b>					
Свободный член	56,368	4,026	14,001	0,000	–
Средняя температура воздуха, °С ( $x_1$ )	4,121	0,325	12,661	0,000	3,171
Максимальная температура воздуха, °С ( $x_2$ )	-3,944	0,270	-14,602	0,000	-4,107
Средняя относительная влажность воздуха, % ( $x_3$ )	-0,245	0,050	-4,949	0,000	-0,675
Средний дефицит влажности воздуха, мбар ( $x_4$ )	0,779	0,097	8,031	0,000	1,097
Первый срок сева ( $x_5$ )	0,889	0,191	4,655	0,000	0,185
Для полной регрессии: стандартная ошибка оценки = 1,159%; $R^2 = 0,747$ ; $F_{\text{отношение}} = 109,91$ ; $F_{\text{теор},0,05} = 2,30$					
<b>Второй срок сева</b>					
Свободный член	56,986	4,202	12,611	0,000	–
Средняя температура воздуха, °С ( $x_1$ )	4,044	0,347	11,652	0,000	3,113
Максимальная температура воздуха, °С ( $x_2$ )	-3,852	0,285	-13,518	0,000	-4,011
Средняя относительная влажность воздуха, % ( $x_3$ )	-0,206	0,052	-3,951	0,000	-0,567
Средний дефицит влажности воздуха, мбар ( $x_4$ )	0,814	0,103	7,872	0,000	1,141
Второй срок сева ( $x_5$ )	-0,412	0,199	-2,072	0,040	-0,086
Для полной регрессии: стандартная ошибка оценки = 1,211%; $R^2 = 0,724$ ; $F_{\text{отношение}} = 97,596$ ; $F_{\text{теор},0,05} = 2,30$					
<b>Третий срок сева</b>					
Свободный член	50,461	3,970	12,710	0,000	–
Средняя температура воздуха, °С ( $x_1$ )	3,791	0,336	11,271	0,000	2,918
Максимальная температура воздуха, °С ( $x_2$ )	-3,689	0,278	-13,263	0,000	-3,842
Средняя относительная влажность воздуха, % ( $x_3$ )	-0,166	0,049	-3,402	0,001	-0,457
Средний дефицит влажности воздуха, мбар ( $x_4$ )	0,894	0,099	9,017	0,000	1,259
Третий срок сева ( $x_5$ )	-0,384	0,191	-2,013	0,046	-0,080
Для полной регрессии: стандартная ошибка оценки = 1,212%; $R^2 = 0,724$ ; $F_{\text{отношение}} = 97,426$ ; $F_{\text{теор},0,05} = 2,30$					

2. Множественные регрессионные модели совместного влияния погодных факторов и разных доз удобрений на содержание клейковины яровой мягкой пшеницы в период колошение – молочная спелость в центральной зоне Оренбургской области

Независимая переменная (погодные и абиотические факторы)		Коэффициент регрессии	Стандартная ошибка	T-значе- ние	Уровень значи- мости	β-коэф- фициент
Свободный член		33,153	1,998	16,592	0,000	–
Темпе- ратура, °С	средняя (x <sub>1</sub> )	1,479	0,156	9,487	0,000	2,276
	максим. (x <sub>2</sub> )	-1,565	0,126	-12,450	0,000	-3,260
Средняя относительная влажность воздуха, % (x <sub>3</sub> )		-0,106	0,021	-5,019	0,000	-0,585
Средний дефицит влажности воздуха, мбар (x <sub>4</sub> )		0,475	0,043	11,072	0,000	1,338
Скорость ветра, м/сек (x <sub>5</sub> )		-0,541	0,071	-7,597	0,000	-0,390
Контроль – без удобрений (x <sub>6</sub> )		-0,324	0,087	-3,723	0,000	-0,124
Для полной регрессии: стандартная ошибка оценки = 0,522%, R <sup>2</sup> = 0,796; F <sub>отношение</sub> = 120,45, F <sub>теор.0,05</sub> = 2,19						
2. Доза удобрений N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub> , уравнения статистически не значимы						
3. Доза удобрений N <sub>80</sub> P <sub>80</sub> K <sub>40</sub>						
Свободный член		33,066	1,999	16,536	0,000	–
Темпе- ратура, °С	средняя (x <sub>1</sub> )	1,473	0,156	9,439	0,000	2,268
	максим. (x <sub>2</sub> )	-1,563	0,126	-12,421	0,000	-3,256
Средняя относительная влажность воздуха, % (x <sub>3</sub> )		-0,106	0,021	-4,979	0,000	-0,581
Средний дефицит влажности воздуха, мбар (x <sub>4</sub> )		0,479	0,043	11,156	0,000	1,349
Скорость ветра, м/сек (x <sub>5</sub> )		-0,550	0,071	-7,711	0,000	-0,397
Удобрение N <sub>80</sub> P <sub>80</sub> K <sub>40</sub> (x <sub>6</sub> )		0,319	0,087	3,663	0,000	0,122
Для полной регрессии: стандартная ошибка оценки = 0,522%, R <sup>2</sup> = 0,796; F <sub>отношение</sub> = 120,12; F <sub>теор.0,05</sub> = 2,19						
4. Доза удобрений N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>40</sub> , уравнения статистически не значимы						

и агротехнические приёмы. Из трёх технологических приёмов (срок сева, норма высева, фон удобрения) на содержание клейковины оказывают влияние срок сева и фон удобрения, норма высева статистически не значима.

Исследования по моделированию связей содержания клейковины с погодными факторами и сроками сева позволили получить множественные регрессионные модели «погода – содержание клейковины – сроки сева», описывающие эти зависимости в межфазный период вегетации колошение – молочная спелость, для других межфазных периодов связи недостоверны (табл. 1).

На основании полученных уравнений были сделаны выводы, что погодные условия межфазного периода колошение – молочная спелость (при изменении их на единицу измерения) совместно с агротехническим приёмом – первым сроком сева позволяют увеличить содержание клейковины на 1,60%, в том числе первый срок сева способствует увеличению клейковины на 0,89%. При данном сочетании погодных факторов в изученных пределах наибольшее положительное влияние в дисперсию клейковины в этот межфазный период вегетации в первый срок сева вносят: средняя температура воздуха (β = 3,171); средний дефицит влажности воздуха (β = 1,097) и отрицательное – максимальная температура воздуха (β = -4,107). Увеличение средней температуры воздуха на 1°С (в изученных пределах 19,2×25,4°С), среднего дефицита влажности на 1 мбар (в пределах 8,9×19,5 мбар) и уменьшение максимальной тем-

пературы воздуха на 1°С (24,9×34,1°С) приводят к увеличению содержания клейковины на 4,12, 0,78 и 3,94% соответственно. Второй и третий сроки сева снижают клейковину на 0,41 и 0,38% соответственно.

Исследования по моделированию связей содержания клейковины с погодными факторами и дозами удобрений позволили получить множественные регрессионные модели «погода – содержание клейковины – удобрения», описывающие эти зависимости в межфазный период вегетации колошение – молочная спелость, для других межфазных периодов связи недостоверны (табл. 2). Отсутствие удобрений (контроль) в сочетании с погодными условиями межфазного периода колошение – молочная спелость приводит к снижению содержания клейковины на 0,65%, внесение повышенной дозы удобрения N<sub>80</sub>P<sub>80</sub>K<sub>40</sub> в сочетании с погодными факторами в этот межфазный период способствует увеличению содержания клейковины на 0,64% и превышению контроля за годы исследований.

В сочетании с удобрением N<sub>80</sub>P<sub>80</sub>K<sub>40</sub> наибольшее положительное влияние в дисперсию клейковины вносят температура средняя (β = 2,27) и средний дефицит влажности воздуха (β = 1,35), отрицательное – максимальная температура (β = -3,26). Увеличение средней температуры на 1°С и среднего дефицита влажности на 1 мбар и уменьшение максимальной температуры на 1°С привело к увеличению содержания клейковины на 2,95; 0,96 и 3,13% соответственно.

### Литература

1. Вакар А.Б. Клейковина пшеницы. М.: АН СССР, 1961. 252 с.
2. ГОСТ Р 52554-2006 Пшеница. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2006. 9 с.
3. 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.
4. Дегтярёва Г.В. Погода, урожай и качество зерна яровой пшеницы. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 216 с.
5. Ряховский А.В. Урожай и белковость зерна яровой пшеницы по различным предшественникам в зависимости от нормы высева семян и удобрений // Зерновые культуры. 1998. № 3. С. 18.
6. Долгалев М.П., Тихонов В.Е. Адаптивная селекция яровой пшеницы в Оренбургском Приуралье. Оренбург, 2005. 290 с.
7. Сандакова Г.Н., Крючков А.Г. Научно обоснованные параметры моделей формирования высокобелкового и высоконатурного зерна сильной пшеницы в условиях Оренбургского Предуралья в зависимости от погодных условий и агротехнических приёмов возделывания. Оренбург: ООО «Агентство «Пресса», 2014. 86 с.
8. Сандакова Г.Н. Модели погодных условий и агротехнических приёмов возделывания для формирования высокобелкового зерна яровой мягкой пшеницы в центральной зоне Оренбургской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 6 (56). С. 227–231.
9. Сандакова Г.Н. Модели погодных условий и агротехнических приёмов возделывания для формирования высоконатурного зерна яровой мягкой пшеницы в центральной зоне Оренбургской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 4 (54). С. 24–27.