

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ПРОГНОЗА СОДЕРЖАНИЯ СЫРОЙ КЛЕЙКОВИНЫ В ЗЕРНЕ ПШЕНИЦЫ

А.В. Пасынков<sup>1</sup>, доктор биологических наук, А.А. Завалин<sup>2</sup>, академик РАН,  
Е.Н. Пасынкова<sup>3</sup>, доктор биологических наук

<sup>1</sup>Агрофизический научно-исследовательский институт,  
195220, Санкт-Петербург, Гражданский проспект, 14

<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова,  
127550, Москва, ул. Прянишникова, 31

<sup>3</sup>Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка»,  
188338, п. Белогорка, Ленинградская область, ул. Институтская, 1  
E-mail: pasynkova.elena@gmail.com

*Обсуждена возможность использования разработанного и усовершенствованных уравнений множественной нелинейной регрессии, отражающих зависимость содержания сырой клейковины от содержания белка и массы 1000 зерен, для прогноза содержания клейковины в зерне пшеницы. Представлен алгоритм и результаты проверки прогностических возможностей уравнений по независимым данным. Обобщение данных 265 литературных источников отечественных и зарубежных авторов с общим числом наблюдений 4630 на более чем 300 сортах озимой и яровой пшеницы, выращенной с 1959 по 2016 г. в различных почвенно-климатических зонах России и за рубежом (Беларусь, Болгария, Казахстан, Польша, Словакия и Украина) при модификационных и генотипических различиях, показало, что число значений, выходящих за пределы, регламентируемые ГОСТ Р 54478 - 2011 «Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице» ( $\pm 2\%$ ), составляет 844 или 18,5%. Таким образом, прогноз верен в 81,5% случаях. Разработанные уравнения множественной нелинейной регрессии можно использовать для ориентировочного определения (прогноза) содержания сырой клейковины даже при условии, что ее величина, а также содержание белка в зерне пшеницы и масса 1000 зерен приведены при фактической или фиксированной влажности или при пересчете на абсолютно сухое вещество.*

## IMPROVING THE METHOD OF FORECAST OF WET GLUTEN CONTENT IN WHEAT GRAIN

Pasynkov A.V.<sup>1</sup>, Zavalin A.A.<sup>2</sup>, Pasynkova E.N.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Agrophysical Research Institute,  
195220, Sankt-Peterburg, Grazhdanskiy pr., 14

<sup>2</sup>All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov,  
127550, Moskva, ul. Pryanishnikova, 31

<sup>3</sup>Leningrad Scientific Research Institute of Agriculture «Belogorka»,  
188338, Leningradskaya oblast, p. Belogorka, ul. Institutskaya, 1  
E-mail: pasynkova.elena@gmail.com

*The possibility of using the developed and improved equations of multiple nonlinear regression, reflecting the dependence of the content of wet gluten on the protein content and the 1000-grain weight, to forecast its (wet gluten) content in wheat grain is discussed. The algorithm and the results of testing the predictive capabilities of equations using independent data are presented. Data compilation of 265 literature sources of domestic and foreign authors with a total number of observations  $n = 4630$  on more than three hundred varieties of winter and spring wheat grown in the period from 1959 to 2016 in various soil-climatic zones of Russia and abroad (Belarus, Bulgaria, Kazakhstan, Poland, Slovakia and Ukraine) with the modification and genotypic differences showed that the number of values that go beyond the limits regulated by GOST R 54478 - 2011 «Grain. The methods of determining the quantity and quality of gluten in wheat» ( $\pm 2\%$ ) was 844 or 18,5%. Thus, the predictability of the forecast reached 81,5%. The developed equations of multiple nonlinear regression can be used for an approximate determination (forecast) of the content of wet gluten in almost all cases: when the results of the analysis of protein content and wet gluten in wheat grain, as well 1000-grain weight are given at actual or fixed humidity, or when converted to dry matter.*

**Ключевые слова:** пшеница, белок, масса 1000 зерен, сырая клейковина, множественный регрессионный анализ, прогноз содержания клейковины

**Key words:** wheat, protein, 1000-grain weight, wet gluten, multiple regression analysis, forecast of wet gluten content

Содержание сырой клейковины, наряду с содержанием белка, натурой, стекловидностью и числом падения служит одним из наиболее важных показателей качества зерна пшеницы в России (ГОСТ Р 52554-2006. «Пшеница. Технические условия»). Для определения содержания сырой клейковины в большинстве стран (Россия, Казахстан, Польша, Украина и др.) наиболее распространен метод с использованием ручного или механического ее отмывания. Однако ручной метод отмывания клейковины довольно трудоемкий, характеризуется сравнительно низкой производительностью, а обе модификации метода – невысокой воспроизводимостью [1].

В работе [2] отмечено, что большую практическую значимость может иметь создание системы уравнений

регрессии, позволяющих прогнозировать наиболее важные показатели качества зерна на основе зависимостей изменений отдельных (наиболее простых и экспрессных в определении) качественных признаков, которые в свою очередь должны быть тесно связаны с условиями выращивания: содержание белка, регламентируемое ГОСТ Р 52554-2006 и определяющее пригодность зерна пшеницы для хлебопечения, и масса 1000 зерен.

Известно, что в большинстве случаев зависимости между различными показателями в биологических системах наиболее точно отражают нелинейные уравнения (логарифмические, полинома половинной степени, второго порядка и т.д.) [3]. Не претендуя на полноту изложения литературных данных по вопро-

сам прогнозирования содержания сырой клейковины в зерне пшеницы, в научной литературе нам не удалось найти сведений, подтверждающих существование нелинейных уравнений множественной регрессии, которые описывали бы ее зависимость от содержания белка и массы зерновки.

Целью настоящего исследования было совершенствование уравнения множественной нелинейной регрессии, отражающего зависимость содержания сырой клейковины в зерне пшеницы от содержания белка и массы 1000 зерен.

**Методика.** Для разработки уравнений регрессии использовали экспериментальные данные, полученные при проведении полевых опытов с яровой пшеницей в лаборатории агрохимии Зонального НИИСХ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого (г. Киров) и Фаленской государственной селекционной станции (п. Фаленки, Кировская область) [4]. Содержание белка в зерне определяли в соответствии с ГОСТ 10846 - 91, сырой клейковины – ГОСТ 13586.1 - 68; массу 1000 зерен – ГОСТ 10842 - 89. Для выявления зависимостей содержания клейковины в зерне пшеницы (зависимая переменная –  $Y$ ) от содержания белка и массы 1000 зерен (независимые переменные –  $X_1$  и  $X_2$  соответственно) применяли множественный регрессионный анализ, алгоритм которого реализован в пакете статистических программ «Statistica 6» (Stat-Soft Inc., США). Более подробно условия и методика проведения начального этапа исследований, а также некоторые их промежуточные результаты опубликованы ранее [4-6].

**Результаты и обсуждение.** Проведение статистической обработки полученных данных и проверка прогностических возможностей уравнений показали [4-6], что наиболее точно зависимость содержания сырой клейковины ( $Y$ , %) в зерне пшеницы от содержания белка ( $X_1 = N_{\text{белк}}$ , 5,7, %) и массы 1000 зерен ( $X_2$ , г) отражает уравнение множественной нелинейной регрессии, в котором содержание белка, сырой клейковины и масса 1000 зерен приведены к 12%-ной влажности:

$$Y(1) = -41,928 + 0,081X_1^2 + 2,548X_2 - 0,028X_2^2. \quad (\text{рис. 1.1})$$

Приведение всех показателей качества зерна к постоянной влажности (12%) обусловлено тем, что согласно ГОСТ 13586.1 - 68 и новому ГОСТ Р 54478 - 2011 «Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице», содержание сырой клейковины в зерне рекомендуется определять без учета влажности. Кроме того ГОСТ 10846 - 91 «Метод определения белка» и новый ГОСТ ISO 520 - 2014 «Определение массы 1000 зерен», введенный взамен ГОСТ 10842 - 89, регламентируют определение содержания белка в зерне и массы 1000 зерен как при фактической влажности, так и в пересчете на абсолютно сухое вещество (а.с.в.).

Анализ полученного уравнения показал, что зависимость содержания клейковины в зерне пшеницы от содержания белка носит нелинейный характер: каждое последующее возрастание белка (на единицу) приводит к большему ее увеличению по сравнению с предыдущим ( $+ X_1^2$ ). Обнаруженная закономерность подтверждает известное положение о том, что повышение содержания белка в зерне пшеницы в большей степени происходит за счет возрастания доли клейковинных белков (проламинов и глютелинов), приводящее к непропорциональному увеличению содержания сырой клейковины [7, 8]. Независимо от содержания белка с возрастанием массы 1000 зерен от ее минимальных ве-

личин содержание клейковины повышается. При этом с каждым последующим увеличением массы 1000 зерен наблюдается замедление темпов роста накопления клейковины в зерне ( $+ X_2 - X_2^2$ ). После того, как масса 1000 зерен достигает точки экстремума (45,5 г), каждое последующее ее повышение (на единицу) приводит к большему снижению содержания сырой клейковины в зерне по сравнению с предыдущим (рис. 1.1).

На следующем этапе исследований был разработан алгоритм проверки точности прогноза содержания сырой клейковины в зерне пшеницы по независимым результатам [5, 6]. То есть мы использовали данные по содержанию белка, сырой клейковины и массе 1000 зерен, полученные другими авторами при проведении полевых экспериментов с иными сортами пшеницы и в иных временных рамках и почвенно-климатических условиях. Подставляя полученные экспериментальным путем данные по содержанию белка и массе 1000 зерен в уравнение регрессии и используя простые математические действия, рассчитываем ориентировочное содержание сырой клейковины в зерне пшеницы без использования ручного или механического ее отмытия.

Критерий оценки точности разработанного уравнения множественной регрессии – регламентируемое как предыдущим ГОСТ 13586.1 - 68, так и новым ГОСТ Р 54478 - 2011 отклонение: «Оба результата признают приемлемыми, если критическая разность результатов определений по количеству клейковины ... не превышает 2%» в абсолютном выражении. Максимально быстро провести расчеты с высокой точностью и проверку прогноза содержания клейковины в зерне пшеницы можно с использованием программы «Excel» (табл. 1, 2, 4).

Точность прогнозирования содержания сырой клейковины в зерне пшеницы по уравнению (1) проверена по независимым данным (табл. 1). Обобщение данных 131 литературного источника отечественных и зарубежных авторов с общим числом наблюдений 2556 на более чем 100 сортах озимой и яровой пшеницы, выращенной с 1959 по 2017 г. в различных почвенно-климатических зонах России и за рубежом при модификационных и генотипических различиях, показало, что число значений, выходящих за пределы, регламентируемые ГОСТ Р 54478 - 2011 ( $\pm 2\%$ ), составляет 474 или 18,5% от общего числа наблюдений (табл. 3). Таким образом, оправдываемость прогноза у уравнения (1) составила 81,5%.

Если содержание белка и (или) масса 1000 зерен рассчитаны на а.с.в., как регламентируют стандарты (ГОСТ 10846 - 91 и ГОСТ ISO 520 - 2014 соответственно), то при использовании уравнения (1) для прогноза содержания сырой клейковины в зерне пшеницы необходимо перерасчет содержания белка и (или) массы 1000 зерен с применением коэффициентов 0,88 (табл. 2 и 4) и 1,136 соответственно. С целью исключения перерасчета в тех случаях, когда содержание сырой клейковины и масса 1000 зерен определены без учета влажности зерна, а содержание белка рассчитано на а.с.в., применимо следующее уравнение (2):

$$Y(2) = -41,928 + 0,063X_1^2 + 2,548X_2 - 0,028X_2^2 \quad (\text{рис. 1.2})$$

Проверка прогностических возможностей уравнения (2) по данным 134 литературных источников отечественных и зарубежных авторов с общим числом наблюдений 2074 на более чем 200 сортах озимой и яровой пшеницы, выращенных с 1971 по 2016 г. в

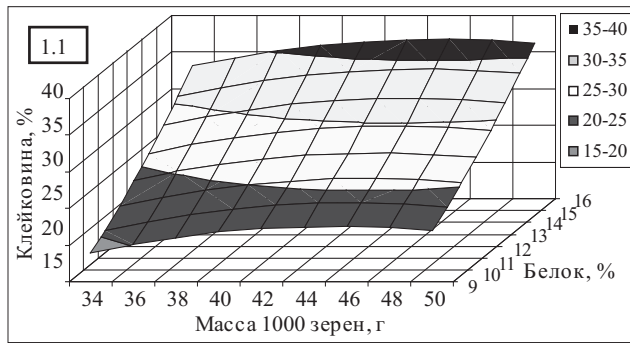


Рис. 1.1. Зависимость содержания сырой клейковины от содержания белка и массы 1000 зерен (уравнение 1)

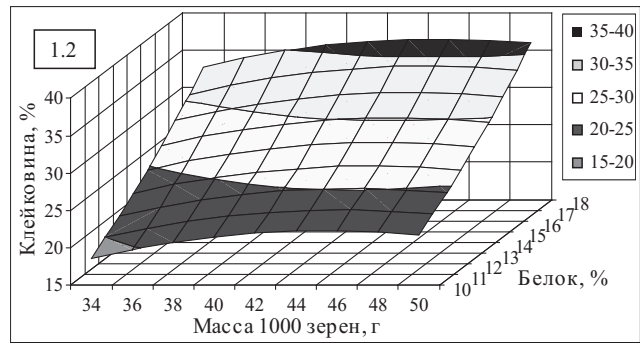


Рис. 1.2. Зависимость содержания сырой клейковины от содержания белка и массы 1000 зерен (уравнение 2)

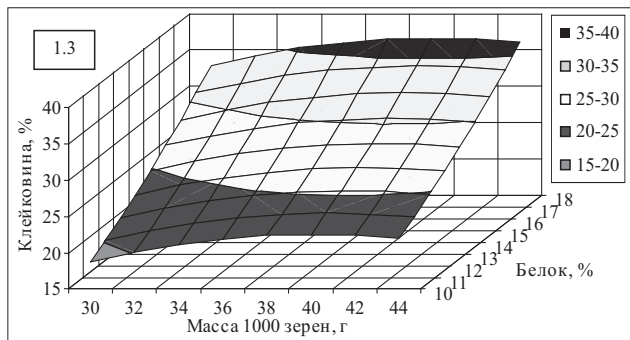


Рис. 1.3. Зависимость содержания сырой клейковины от содержания белка и массы 1000 зерен (уравнение 3)

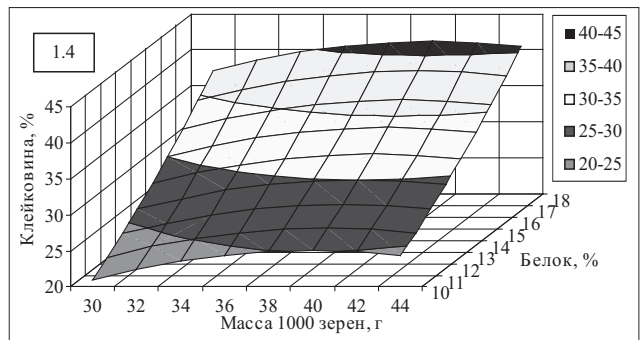


Рис. 1.4. Зависимость содержания сырой клейковины от содержания белка и массы 1000 зерен (уравнение 4)

Табл. 1. Алгоритм проверки точности прогноза содержания сырой клейковины в зерне пшеницы ( $Y(1) = -41,928 + 0,081X_1^2 + 2,548X_2 - 0,028X_2^2$ )

Данные по $X_1$ , $X_2$ и $Y_{\text{э}}$ из работы [9], 9 сортов (Россия)					Данные по $X_1$ , $X_2$ и $Y_{\text{э}}$ из работы [10], сорт Astrella (Словакия)				
$X_1$	$X_2$	$Y_{\text{т}}$	$Y_{\text{э}}$	$(Y_{\text{э}} - Y_{\text{т}})$	$X_1$	$X_2$	$Y_{\text{т}}$	$Y_{\text{э}}$	$(Y_{\text{э}} - Y_{\text{т}})$
13,0	35,0	26,6	28,0	1,4	10,3	36,6	22,4	22,6	0,2
12,0	34,0	24,0	25,0	1,0	10,4	37,8	23,1	23,5	0,4
17,0	35,0	36,4	36,0	-0,4	10,1	37,2	22,4	23,1	0,7
11,0	35,0	22,8	22,0	-0,8	10,3	37,6	22,9	23,5	0,6
12,0	35,0	24,6	25,0	0,4	10,4	36,9	22,7	25,5	<b>2,8</b>
13,0	38,0	28,2	28,0	-0,2	10,8	36,9	23,4	24,3	0,9
13,0	35,0	26,6	27,0	0,4	10,4	38,6	23,5	23,8	0,3
13,0	34,0	26,0	28,0	2,0	n = 7	ЧЗ	1	ОП	83,7
15,0	32,0	29,2	32,0	<b>2,8</b>	Данные по $X_1$ , $X_2$ и $Y_{\text{э}}$ из работы [12], сорт Orkisz (Польша)				
n = 9	ЧЗ	1	ОП	88,9	12,37	39,7	27,5	27,5	0,0
Данные по $X_1$ , $X_2$ и $Y_{\text{э}}$ из работы [11], сорт Полесская 90 (Украина)					13,28	39,3	29,2	30,2	1,0
11,3	38,0	24,8	24,8	0,0	12,60	40,3	28,1	28,6	0,5
11,7	39,1	26,0	25,0	-1,0	12,31	39,6	27,3	27,8	0,5
11,6	38,5	25,6	24,1	-1,5	13,00	39,3	28,7	29,4	0,7
11,4	39,7	25,6	24,2	-1,4	12,88	40,0	28,6	29,1	0,5
11,7	39,1	26,0	25,5	-0,5	n = 6	ЧЗ	0	ОП	100
n = 5	ЧЗ	0	ОП	100					

**Примечание.** n – общее число наблюдений;  $X_1$  – содержание белка в зерне, %;  $X_2$  – масса 1000 зерен, г;  $Y_{\text{т}}$  – теоретическое содержание сырой клейковины (расчет по уравнению регрессии), %;  $Y_{\text{э}}$  – экспериментальное содержание клейковины, %;  $(Y_{\text{э}} - Y_{\text{т}})$  – отклонение экспериментальных величин от теоретических, ±; выделенные значения выходят за пределы ± 2%; ЧЗ – число значений, выходящих за пределы ± 2%; ОП – оправдаемость прогноза, % (то же в тексте и табл. 2 и 4).

**Табл. 2. Алгоритм проверки точности прогноза содержания сырой клейковины в зерне пшеницы ( $Y(1) = -41,928 + 0,081X_1^2 + 2,548X_2 - 0,028X_2^2$ )**

Данные по $X_1$ , $X_2$ и $Y_{\Gamma}$ из работы [13], сорт Юбилейная 100 (Россия)					Данные по $X_1$ , $X_2$ и $Y_{\text{Э}}$ из работы [14], 8 сортов (Болгария)				
$X_1$	$X_2$	$Y_{\Gamma}$	$Y_{\text{Э}}$	$(Y_{\text{Э}}-Y_{\Gamma})$	$X_1$	$X_2$	$Y_{\Gamma}$	$Y_{\text{Э}}$	$(Y_{\text{Э}}-Y_{\Gamma})$
14,7/12,94	39,9	28,7	28,3	- 0,4	15,8/13,90	38,6	30,4	30,1	- 0,3
14,6/12,85	39,7	28,5	28,2	- 0,3	16,9/14,87	40,9	33,4	33,1	- 0,3
14,7/12,94	39,4	28,6	28,0	- 0,6	16,3/14,34	34,9	29,5	31,4	1,9
14,9/13,11	40,1	29,1	29,3	0,2	14,9/13,11	39,4	28,9	28,8	- 0,1
14,8/13,02	39,8	28,9	29,3	0,4	15,0/13,20	38,9	28,9	28,3	- 0,6
14,4/12,67	39,2	27,9	29,0	1,1	18,0/15,84	36,6	34,1	35,7	1,6
14,7/12,94	38,0	28,0	26,7	- 1,3	16,7/14,70	34,6	30,2	31,3	1,1
14,6/12,85	37,5	27,6	26,8	- 0,8	17,7/15,58	37,6	34,0	33,8	- 0,2
14,7/12,94	37,3	27,7	26,6	- 1,1	n = 8	ЧЗ	0	ОП	100
n = 9	ЧЗ	0	ОП	100	Данные по $X_1$ , $X_2$ и $Y_{\text{Э}}$ из работы [16], озимая пшеница (Казахстан)				
Данные по $X_1$ , $X_2$ и $Y_{\text{Э}}$ из работы [15], 12 сортов (Украина)					13,6/11,97	42,8	27,4	26,0	- 1,4
14,1/12,41	45,5	28,5	30,4	1,9	14,9/13,11	43,2	29,8	30,6	0,8
15,3/13,46	42,2	30,4	28,1	- 2,3	14,7/12,94	42,3	29,3	29,5	0,2
13,2/11,62	45,9	27,0	28,5	1,5	14,7/12,94	42,1	29,3	29,8	0,5
13,6/11,97	47,1	27,6	28,5	0,9	14,7/12,94	42,6	29,4	29,6	0,2
13,8/12,14	40,8	27,4	27,6	0,2	14,8/13,02	44,3	29,7	29,9	0,2
13,8/12,14	45,9	28,0	27,7	- 0,3	14,8/13,02	43,9	29,7	30,3	0,6
13,8/12,14	43,8	27,9	28,7	0,8	13,1/11,53	43,2	26,7	27,3	0,6
14,0/12,32	44,0	28,3	27,7	- 0,6	14,7/12,94	42,6	29,4	29,5	0,1
13,2/11,62	44,1	26,9	25,7	- 1,2	14,4/12,67	43,0	28,9	28,9	0,0
13,6/11,97	44,9	27,6	27,1	- 0,5	14,9/13,11	43,7	29,9	30,8	0,9
13,3/11,70	46,8	27,1	28,3	1,2	14,4/12,67	43,2	28,9	29,1	0,2
14,5/12,76	42,6	29,0	28,6	- 0,4	15,4/13,55	40,6	30,2	31,2	1,0
n = 12	ЧЗ	1	ОП	91,7	n = 13	ЧЗ	0	ОП	100

**Примечание.** В колонке  $X_1$  – а.с.в / 12%-ная влажность зерна.

различных почвенно-климатических зонах России и за рубежом при модификационных и генотипических различиях, показала, что число значений, выходящих за пределы, регламентируемые ГОСТ Р 54478 - 2011 ( $\pm 2\%$ ), составляет 370 или 17,8% от общего числа наблюдений (табл. 3). Таким образом, оправдываемость прогноза у уравнения (2) составила 82,2%, то есть была практически такой же, как и уравнения (1).

С целью исключения перерасчета содержания белка и массы 1000 зерен, когда их величины приведены к а.с.в., а содержание сырой клейковины определено без учета влажности зерна, было рассчитано уравнение

(3), а когда все показатели качества приведены к а.с.в. – уравнение (4):

$$Y(3) = -41,965 + 0,063X_1^2 + 2,894X_2 - 0,036X_2^2, \quad (\text{рис. 1.3})$$

$$Y(4) = -47,585 + 0,072X_1^2 + 3,276X_2 - 0,041X_2^2. \quad (\text{рис. 1.4})$$

Необходимо отметить, что точки экстремума по величине массы 1000 зерен у уравнений (3) и (4) по сравнению с уравнениями (1) и (2) сместились в область меньших значений и составили 40,19 и 39,95 г соответственно.

**Табл. 3. Результаты оценки прогностических возможностей уравнений**

Количество литературных источников	Общее число наблюдений (n)	Число значений, выходящих за пределы $\pm 2\%$	Оправдываемость прогноза, %
	$Y(1) = -41,928 + 0,081X_1^2 + 2,548X_2 - 0,028X_2^2$		
131	2556	474	81,5
	$Y(2) = -41,928 + 0,063X_1^2 + 2,548X_2 - 0,028X_2^2$		
134	2074	370	82,2
Итого: 265	4630	844	81,8

**Табл. 4. Сравнительная оценка точности прогноза различных уравнений**

Данные по $X_1$ , $X_2$ и $Y_э$ из работы [17], n = 6. 6 сортов озимой пшеницы (Россия)											
$Y(1) = -41,928 + 0,081X_1^2 + 2,548X_2 - 0,028X_2^2$						$Y(2) = -41,928 + 0,063X_1^2 + 2,548X_2 - 0,028X_2^2$					
$X_1$	$X_2$	$Y_T$	$Y_э$	$(Y_э - Y_T)$	$(Y_э - Y_T)^2$	$X_1$	$X_2$	$Y_T$	$Y_э$	$(Y_э - Y_T)$	$(Y_э - Y_T)^2$
13,6/11,97	42,2	27,3	28,0	0,7	0,49	13,6	42,2	27,4	28,0	0,6	0,36
13,8/12,14	45,7	28,0	26,5	-1,5	2,25	13,8	45,7	28,0	26,5	-1,5	2,25
14,5/12,76	45,5	29,2	31,5	<b>2,3</b>	5,29	14,5	45,5	29,3	31,5	<b>2,2</b>	4,84
13,6/11,97	49,4	27,2	28,8	1,6	2,56	13,6	49,4	27,3	28,8	1,5	2,25
14,0/12,32	41,9	28,0	28,5	0,5	0,25	14,0	41,9	28,0	28,5	0,5	0,25
14,1/12,41	40,6	27,8	28,4	0,6	0,36	14,1	40,6	27,9	28,4	0,5	0,25
ЧЗ	1	ОП	83,3	$\Sigma$	11,20	ЧЗ	1	ОП	83,3	$\Sigma$	10,20
Данные по $X_1$ , $X_2$ и $Y_э$ из работы [18], n = 8. Сорт Рассвет (Беларусь)											
8,4 / 7,39	38,1	18,9	17,7	-1,2	1,44	8,4	38,1	19,0	17,7	-1,3	1,69
11,6/10,21	43,8	24,4	25,6	1,2	1,44	11,6	43,8	24,4	25,6	1,2	1,44
11,5/10,12	41,4	23,9	26,2	<b>2,3</b>	5,29	11,5	41,4	23,9	26,2	<b>2,3</b>	5,29
10,8 / 9,50	42,1	23,0	25,1	<b>2,1</b>	4,41	10,8	42,1	23,1	25,1	2,0	4,00
12,3/10,82	42,5	25,3	26,2	0,9	0,81	12,3	42,5	25,3	26,2	0,9	0,81
13,3/11,70	41,5	26,7	27,2	0,5	0,25	13,3	41,5	26,7	27,2	0,5	0,25
13,5/11,88	42,7	27,3	27,6	0,3	0,09	13,5	42,7	27,3	27,6	0,3	0,09
11,5/10,12	42,9	24,1	25,4	1,3	1,69	11,5	42,9	24,2	25,4	1,2	1,44
ЧЗ	2	ОП	75,0	$\Sigma$	15,42	ЧЗ	1	ОП	87,5	$\Sigma$	15,01
Данные по $X_1$ , $X_2$ и $Y_э$ из работы [19], n = 7. Сорты Radunia и Tybalt (Польша)											
11,0/9,68	35,9	21,0	21,5	0,5	0,25	11,0	35,9	21,1	21,5	0,4	0,16
12,3/10,82	37,1	23,6	24,7	1,1	1,21	12,3	37,1	23,6	24,7	1,1	1,21
11,8/10,38	37,6	23,0	25,5	<b>2,5</b>	6,25	11,8	37,6	23,1	25,5	<b>2,4</b>	5,76
12,7/11,18	39,2	25,0	25,1	0,1	0,01	12,7	39,2	25,1	25,1	0,0	0,00
13,2/11,62	39,5	26,0	26,7	0,7	0,49	13,2	39,5	26,0	26,7	0,7	0,49
14,0/12,32	42,6	28,1	27,9	-0,2	0,04	14,0	42,6	28,2	27,9	-0,3	0,09
14,6/12,85	41,1	28,9	29,8	0,9	0,81	14,6	41,1	28,9	29,8	0,9	0,81
ЧЗ	1	ОП	85,7	$\Sigma$	9,06	ЧЗ	1	ОП	85,7	$\Sigma$	8,52

**Примечание.** В колонке  $X_1$  – а.с.в./12%-ная влажность зерна;  $(Y_э - Y_T)^2$  – квадрат отклонений экспериментальных величин от теоретических;  $\Sigma$  – сумма квадратов отклонений.

В табл. 4 представлены результаты сравнительной оценки точности уравнений (1) и (2) между собой по следующим критериям [3, 6]: оправдываемость прогноза – отношение количества значений, когда отклонения экспериментальных величин содержания сырой клейковины в зерне пшеницы от теоретических ( $Y_э - Y_T$ ) не превышали регламентированное ГОСТ Р 54478 - 2011 отклонение ( $\pm 2\%$ ) к общему числу наблюдений (n), выраженное в %; сумма квадратов отклонений экспериментальных величин содержания сырой клейковины ( $Y_э$ ) в зерне пшеницы от теоретических ( $Y_T$ ) (прогнозных или рассчитанных по соответствующему уравнению регрессии) или  $\Sigma(Y_э - Y_T)^2$ . Сравнение точности прогноза разработанных уравнений показало,

что уравнение (2) – в половине случаев более точное, чем уравнение (1), предполагающее перерасчет содержания белка (табл. 2). Следует отметить, что в табл. 4 приведены лишь три типичных примера, обнаруженных при сравнительной оценке прогностических возможностей уравнений (1) и (2).

Таким образом, разработанные уравнения множественной нелинейной регрессии могут быть использованы для ориентировочного определения (прогноза) содержания сырой клейковины практически во всех случаях, когда результаты анализа содержания белка и сырой клейковины в зерне пшеницы, а также масса 1000 зерен приведены при фактической или фиксированной влажности или при пересчете на сухое вещество.

**Литература**

1. Колмаков Ю.В. Оценка материала пшеницы в селекции и повышение потенциала его качества в зернопроизводстве и хлебопечении. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 2007. – С. 5-19.
2. Бегеулов М.Ш. Статистический анализ технологических показателей качества зерна // *Агрохимия*. – 2002. – № 10. – С. 68-73.
3. Иванова Т.И. Прогнозирование эффективности удобрений с использованием математических моделей. – М.: Агропромиздат, 1989. – 234 с.
4. Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н. Статистические зависимости основных показателей качества зерновых культур // *Агрохимия*. – 2011. – № 2. – С. 24-40
5. Пасынков А.В., Дубовик Д.В., Пасынкова Е.Н. Прогноз содержания сырой клейковины в зерне пшеницы на основе уравнений множественной регрессии // *Вестник Курской ГСХА*. – 2017. – № 4. – С. 8-14.
6. Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н. Особенности использования уравнений множественной регрессии для прогноза содержания сырой клейковины в зерне пшеницы // *Агрохимический вестник*. – 2018. – № 3. – С. 69-74. DOI 10.24411/0235-2516-2018-10016.
7. Павлов А.Н. Повышение содержания белка в зерне. – М.: Наука, 1984. – 119 с.
8. Труфанов В.А. Клейковина пшеницы: проблемы качества. – Новосибирск: Наука, 1994. – 167с.
9. Коряковцева Л.А. Перспективные гибридные линии яровой мягкой пшеницы // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2009. – № 1 (12). – С. 15-17.
10. Dicsay L., Lozek J. Effect of topdressing with nitrogen of the yield and quality of winter wheat grain // *Plant soil environment*. – 2004. – N. 7 (50). – P. 309-314.
11. Литвинов Д.В., Вишневецкий П.С., Буслаева Н.Г. Урожайность и качество зерна пшеницы озимой при возделывании в короткоротационных севооборотах левобережной лесостепи Украины // *Земледелие и селекция в Беларуси*. – 2014. – № 50. – С. 9-17.
12. Stepień A., Wojtkowia K., Skłodowski M. Mirosław Pietruszewicz. Wpływ dolistnego nawożenia cu, zn i mn na wskaźniki jakościowe ziarna i elementy plonowania pszenicy ozimej orkisz (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.) // *Fragm. Agronom.* – 2017. – N. 34 (3). – S. 97-108.
13. Богданов В.А. Урожайность и качество зерна сортов озимой пшеницы в зависимости от сроков и норм посева в южной зоне Ростовской области: автореф. дисс. ... к.с.-х.н. - п. Персиановский, 2009. – 18 с.
14. Mangova M., Petrova I. Detection of Quality Diversity of Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) Using Cluster and Principal Component Analyses // *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. – 2007. – N. 13. – P. 301-308.
15. Ремесло В.Н. Результаты, перспективы и пути ускорения селекции озимой пшеницы / *Селекция и сортовая агротехника озимой пшеницы*. – М.: Колос, 1979. – С. 8-19.
16. Елешев Р.Е., Балгабаев А.М., Мамбетов К.Б. Влияние длительного применения удобрений на качество зерна озимой пшеницы, возделываемой в свекловичном севообороте // *Известия национальной Академии наук Республики Казахстан*. – 2014. Серия аграрных наук. – № 3 (21). – С. 24-27.
17. Власова Л.М. Урожай и качество зерна озимой твердой пшеницы в лесостепи ЦЧР в зависимости от нормы высева семян и листовых подкормок: автореф. дисс. ... к. с.-х. н. – Воронеж, 2013. – 23 с.
18. Лапа В.В. Исследования экологических функций агрохимии в полевых опытах с удобрениями в республике Беларусь // *Проблемы агрохимии и экологии*. – 2009. – № 3. – С. 7-10.
19. Jan Buczek, Dorota Bobrecka-Jamro, Waclaw Jarecki. Plon i jakość ziarna wybranych odmian pszenicy jarej w zależności od dawki i terminu stosowania azotu // *Fragm. Agronom.* – 2011. – N. 28 (4). – S. 7-15.

**Поступила в редакцию 28.08.19  
Принята к публикации 05.10.19**