

АГРОНОМИЯ

AGRONOMY

Научная статья

УДК 633.11:631.8.022.3

EDN SWIFKG

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-1-5-16>**Моделирование урожайности яровой пшеницы при дифференцированном посеве и внесении минеральных удобрений****Владимир Иванович Беляев¹, Дмитрий Николаевич Пирожков², Андрей Владимирович Тагильцев³, Людмила Валерьевна Соколова⁴**^{1,2,3} Алтайский государственный аграрный университет, Алтайский край, Барнаул, Россия⁴ Алтайский государственный университет, Алтайский край, Барнаул, Россия¹ prof-belyaev@yandex.ru, ² mms.asau@yandex.ru,³ andrey20291@gmail.com, ⁴ l.v.sokol@mail.ru

Аннотация. Одними из наиболее действенных методов повышения урожайности яровой мягкой пшеницы являются совершенствование технологий ее возделывания, применение дифференцированного посева и точечное внесение минеральных удобрений. Разработка и внедрение технологий точного земледелия становится важным инструментом для сельскохозяйственного производства. Цель работы – оценка агрономической эффективности применения различных вариантов норм высева семян и доз внесения гранулированных и жидких минеральных удобрений при возделывании яровой пшеницы в условиях степной зоны Новосибирской области. В 2024 году в ООО «Рубин» Краснозерского района Новосибирской области на трех полях хозяйства изучались агрономическая эффективность дифференцированных систем питания яровой пшеницы сорта Предгорная при равной норме высева семян; агрономическая эффективность дифференцированной системы питания яровой пшеницы и агрономическая эффективность дифференцированных систем питания яровой пшеницы при равной дозе внесения минеральных удобрений. Анализ результатов показывает, что наиболее значимое влияние на урожайность пшеницы оказала зона плодородия поля (X_3); на втором месте – доза внесения минеральных удобрений (X_2); на третьем – норма высева семян пшеницы (X_1). Установлено, что применение различных доз внесения минеральных удобрений и норм высева семян по зонам плодородия полей очень существенно влияет на структуру урожая, величину затрат и экономическую эффективность. Поэтому правильное применение дифференцированного посева и внесения удобрений по зонам плодородия почвы на полях является одним из наиболее значимых направлений повышения эффективности производства зерна.

Ключевые слова: яровая пшеница, дифференцированный посев, минеральные удобрения, норма высева, урожайность, точное земледелие

Для цитирования: Беляев В. И., Пирожков Д. Н., Тагильцев А. В., Соколова Л. В. Моделирование урожайности яровой пшеницы при дифференцированном посеве и внесении минеральных удобрений // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 1. С. 5–16. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-1-5-16>.

Original article

Modeling of spring wheat yield with differentiated seeding and mineral fertilizer application**Vladimir I. Belyaev¹, Dmitriy N. Pirozhkov², Andrey V. Tagiltsev³, Lyudmila V. Sokolova⁴**^{1,2,3} Altai State Agrarian University, Altai krai, Barnaul, Russian Federation

⁴ Altai State University, Altai krai, Barnaul, Russian Federation

¹ prof-belyaev@yandex.ru, ² mms.asau@yandex.ru,

³ andrey20291@gmail.com, ⁴ l.v.sokol@mail.ru

Abstract. One of the most effective methods for increasing the yield of spring soft wheat is the improvement of its cultivation technologies, the use of differentiated seeding and the targeted application of mineral fertilizers. The development and implementation of precision farming technologies are becoming important tools for agricultural production. The purpose of the work is to evaluate the agronomic efficiency of using various seeding rates and doses of granulated and liquid mineral fertilizers when cultivating spring wheat in the steppe zone of Novosibirsk region. In 2024, the agronomic efficiency of differentiated nutrition systems for spring wheat of Predgornaya cultivar with the same seeding rate; the agronomic efficiency of differentiated nutrition systems for spring wheat and the agronomic efficiency of differentiated nutrition systems for spring wheat with the same dose of mineral fertilizers were studied in three fields of the farm at Rubin LLC in Krasnozersky district, Novosibirsk region. The analysis of the results showed that the most significant influence on the wheat yield was exerted by the field fertility zone (X_3), in second place was the dose of mineral fertilizers (X_2), and in third place was the seeding rate of wheat seeds (X_1). It has been established that the use of different doses of mineral fertilizers and seeding rates by field fertility zones has a very significant effect on the structure of the harvest, the amount of costs and economic efficiency. Therefore, the correct use of differentiated seeding and fertilizer application by soil fertility zones in the fields is one of the most significant areas for increasing the efficiency of grain production.

Keywords: spring wheat, variable seeding, mineral fertilizers, seeding rate, yield, precision farming

For citation: Belyaev V. I., Pirozhkov D. N., Tagiltsev A. V., Sokolova L. V. Modeling of spring wheat yield with differentiated seeding and mineral fertilizer application. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19;1:5–16. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-19-1-5-16>.

Введение. Яровая пшеница является одной из основных сельскохозяйственных культур, играющих важную роль в обеспечении продовольственной безопасности и экономическом развитии государства. Ее урожайность зависит от целого ряда факторов, включая климатические условия, сортовые особенности, агротехнические мероприятия и интенсивность агропроизводства. Одними из наиболее действенных методов повышения урожайности любой сельскохозяйственной культуры являются совершенствование технологий ее возделывания, применение дифференцированного посева и точечное внесение минеральных удобрений [1].

В последние годы эти подходы находят широкое применение, так как помогают значительно повысить экономическую эффективность производства, одновременно снижая негативное воздействие на окружающую среду.

Современное растениеводство сталкивается с необходимостью адаптации к изменяющимся климатическим условиям и оптимизации использования минеральных удобрений, а также других ресурсов. Одним из наиболее перспективных мето-

дов повышения эффективности и устойчивости сельского хозяйства является дифференцированный посев культур.

Исследования подтверждают, что применение дифференцированного посева способствует улучшению структуры посевов и рациональному использованию ресурсов почвы [2, 3].

Также одним из главных факторов достижения высоких урожаев выступает грамотное внесение минеральных удобрений [4]. Удобрения позволяют эффективно регулировать содержание питательных веществ в почве, улучшать ее физико-химические характеристики и обеспечивать растения всеми необходимыми элементами для полноценного роста. Однако избыточное использование удобрений может привести к ухудшению состояния экосистем. Точное внесение удобрений позволяет снизить их расход, уменьшить негативное воздействие на окружающую среду и повысить экономическую эффективность производства [5–8]. Разработка и внедрение технологий точного земледелия становится важным инструментом для сельскохозяйственного производства.

Цель работы – оценка агрономической эффективности применения различных вариантов норм высева семян и доз внесения гранулированных и жидких минеральных удобрений при возделывании яровой пшеницы в условиях степной зоны Новосибирской области.

Материалы и методы исследования. Закладка полевых опытов проводилась в 2024 г. в ООО «Рубин» Краснозерского района Новосибирской области на трех полях хозяйства.

Тип почвы – чернозем выщелоченный легкосуглинистый. Дата закладки опыта: 31.05.2024 г. Культура: яровая пшеница сорта Предгорная ЭС. Масса 1 000 зерен 41,0 г, энергия прорастания 96 %, лабораторная всхожесть 97 %. Для предпосевной обработки использовался протравитель семян «Сиеник комби» в дозировке 1,5 л/т. Осенняя обработка почвы не проводилась.

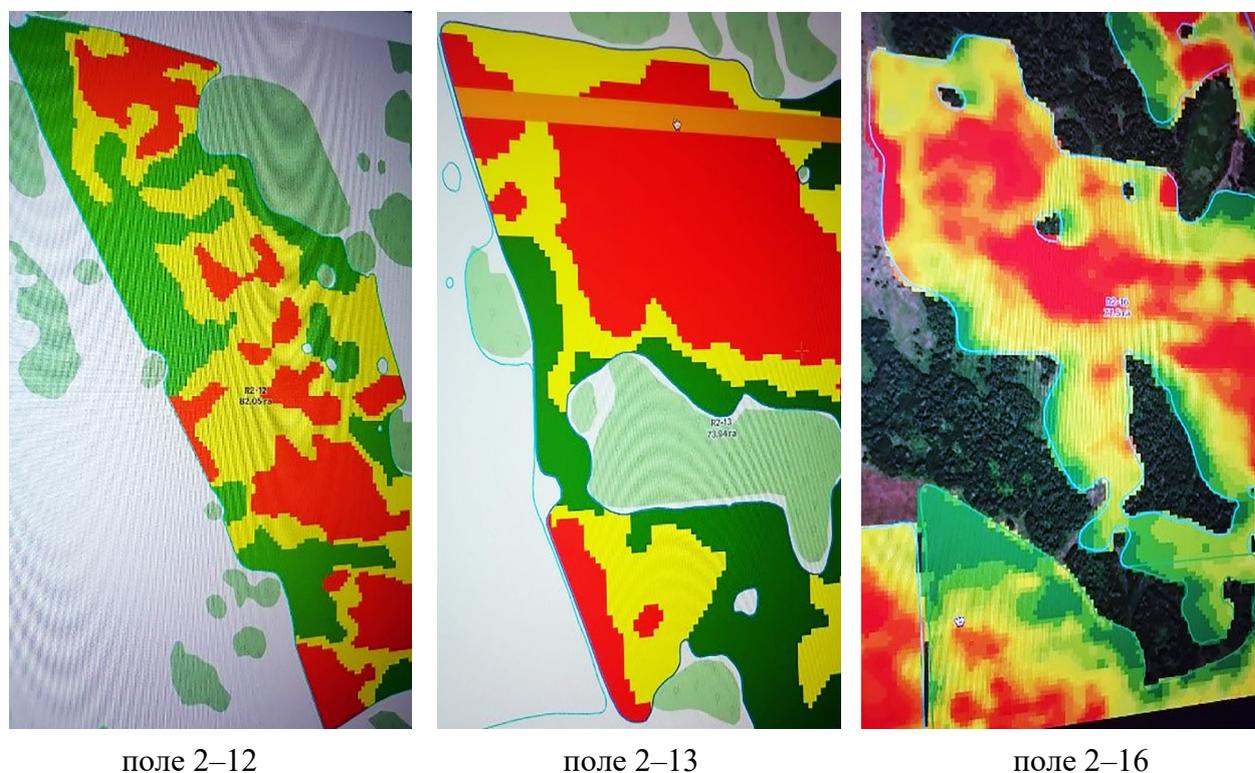
Опыты реализованы на трех полях хозяйства: 2–12 (82 га); 2–13 (75 га) и 2–16 (76 га). На опытном поле 2–12 (полевой опыт № 1) изучалась агрономическая эффективность дифференцирован-

ных систем питания яровой пшеницы при равной норме высева семян. На поле 2–13 (полевой опыт № 2) изучалась агрономическая эффективность дифференцированной системы питания яровой пшеницы. На поле 2–16 (полевой опыт № 3) изучалась агрономическая эффективность дифференцированных систем питания яровой пшеницы при равной дозе внесения минеральных удобрений. На поверхности полей находились измельченные растительные остатки.

Выбор полей проводился на основе карт почвенного плодородия онлайн платформы «Агроноут» [9]. На каждом поле выделялись три зоны почвенного плодородия: высокое – зеленый цвет; среднее – желтый цвет и низкое – красный цвет (рис. 1).

Были реализованы различные варианты сочетаний норм высева семян и доз внесения гранулированных и жидких минеральных удобрений согласно вариантам опытов и в соответствии с методикой полевого опыта [10] (табл. 1).

Посев выполнялся агрегатом в составе трактора John Deere 9430 и посевного



**Рисунок 1 – Зоны продуктивности опытных полей (платформа «Агроноут»)
Figure 1 – Soil fertility zones of experimental fields (AgroNote platform)**

Таблица 1 – Варианты опытов
Table 1 – Experimental variants

Номер	Норма высева семян, млн. шт./га	Доза внесения удобрений, кг/га (л/га)	Зона продуктивности поля
<i>Опытное поле 2–12 (норма высева – 3,7 млн. шт./га)</i>			
1	3,700	70 (80)	высокая
2	3,700	70 (80)	средняя
3	3,700	70 (80)	низкая
4	3,700	100 (110)	высокая
5	3,700	100 (110)	средняя
6	3,700	100 (110)	низкая
7	3,700	130 (150)	высокая
8	3,700	130 (150)	средняя
9	3,700	130 (150)	низкая
<i>Опытное поле 2–13 (дифференцированный посев)</i>			
1	4,500	94 (113)	высокая
2	4,500	156 (188)	средняя
3	3,375	156 (188)	низкая
4	3,700	100 (110)	высокая
5	3,700	100 (110)	средняя
6	3,700	100 (110)	низкая
<i>Опытное поле 2–16 (норма внесения удобрений – 100 кг/га (110 л/га))</i>			
1	3,200	100 (110)	высокая
2	3,200	100 (110)	средняя
3	3,200	100 (110)	низкая
4	3,700	100 (110)	высокая
5	3,700	100 (110)	средняя
6	3,700	100 (110)	низкая
7	4,200	100 (110)	высокая
8	4,200	100 (110)	средняя
9	4,200	100 (110)	низкая
Примечание: 1. В качестве гранулированного удобрения применяли диаммофос. 2. Жидкие удобрения готовились в растворном узле хозяйства: КАС S (2 600 л): 1,4 т воды; 900 кг сульфата аммония; 900 кг карбамида КАС N (2 300 л): 0,9 т воды; 1 000 кг аммиачной селитры; 900 кг карбамида.			

комплекса John Deere 1895 (междурядье 25 см). Внесение гранулированных и жидких удобрений в почву проводили вместе с семенами при посеве яровой пшеницы. Обработка посевов по вегетации выполнялась опрыскивателем «Монтана» (27 м):

первая обработка: дата – 25.06.24 г. (Скаут ультра 0,45 л/га; Октапон 0,35 л/га; Каскад премиум 0,03 кг/га; Сансер ультра 0,3 л/га; Восторг 0,15 л/га; Модус 0,2 л/га);

вторая обработка: дата – 24.07.24 г. (Альто супер 0,5 л/га; Ранголи норил 1 л/га).

Уборка урожая проводилась 13 сентября 2024 г. зерноуборочным комбайном John Deere 9670. При уборке выполнялось картирование урожая по каждому полю с применением системы электронного учета.

Результаты исследований и их обсуждение. ООО «Рубин» расположено в степной зоне Новосибирской области.

Распределение осадков и температур (по данным ближайшей метеостанции с. Хабары, 30 км от хозяйства), а также их многолетние значения приведены в таблицах 2, 3. Таким образом, за май – август количество осадков было выше среднего многолетнего на 47 мм (26 %), а средняя температура выше на 0,7 °С (4 %). Причем, если в июне и июле выпало осадков всего 60 и 70 % от нормы, то в мае и августе 175 и 275 % от нормы соответственно. Наибольшее отклонение температуры от многолетней наблюдали в июне (на 2,1 °С выше нормы), а минимальное – в августе (на 0,7 °С выше нормы).

Сводные данные структуры урожая яровой пшеницы по сравнимым вариантам опытов приведены в таблице 4.

Анализ данных показывает, что исследуемые факторы в опытах (уровень плодородия поля, норма высева семян и доза внесения удобрений) в условиях года оказали существенное влияние на изменчивость следующих оцениваемых показателей: средняя масса колосьев с единицы площади и биологическая урожайность (25,1 и 25,9 % соответственно); количество продуктивных стеблей (21,0 %); средняя

высота растений (17,7 %); средняя масса колоса и зерна в нем (14,1 и 16,9 % соответственно); количество зерен в колосе (13,3 %). Минимальная вариация получена у массы 1 000 зерен (6,3 %).

Рассмотрим влияние исследуемых факторов на величину урожайности пшеницы по трем полям и вариантам опытов отдельно. В полевом опыте на поле 2–12 исследовалось влияние доз внесения минеральных удобрений и зон плодородия почвы на величину урожайности пшеницы при постоянной норме высева семян (3,7 млн. шт./га). Полученное уравнение связи имеет вид:

$$Y_6 = 20,4 + 0,58X_1 + 4,25X_2; R = 0,77 \quad (1)$$

где X_1 – кодовое обозначение дозы внесения удобрений (–1 – нижний уровень в опыте; +1 – верхний уровень в опыте);

X_2 – кодовое обозначение зоны плодородия исследуемого поля (–1 – зона низкого плодородия; +1 – зона высокого плодородия).

Таким образом, с увеличением дозы внесения удобрений (гранулированные

Таблица 2 – Количество осадков за вегетационный период в 2024 г. (с. Хабары)

Table 2 – Amount of precipitation during the growing season in 2024 (v. Khabary)

Месяц	Сумма осадков по декадам, мм			Всего, мм	Средние многолетние, мм	В процентах от средних многолетних
	I	II	III			
Май	20	6	21	47	27	175
Июнь	13	13	3	29	48	60
Июль	7	18	21	46	66	70
Август	67	16	21	104	38	275
Всего	–	–	–	226	179	126

Таблица 3 – Средние температуры за вегетационный период в 2024 г. (с. Хабары)

Table 3 – Average temperatures during the growing season in 2024 (v. Khabary)

Месяц	Средние температуры по декадам, °С			В среднем, мм	Средние многолетние, °С	В процентах от средних многолетних
	I	II	III			
Май	10,2	13,7	10,3	11,4	12,8	89
Июнь	15,9	20,3	24,5	20,2	18,1	112
Июль	20,1	21,5	21,4	21,0	19,7	107
Август	20,7	18,0	15,9	18,1	17,4	104
В среднем	–	–	–	17,7	17,0	104

Таблица 4 – Структура урожая пшеницы по вариантам опытов

Table 4 – Structure of wheat yield by experimental variants

Вариант	Зона плодородия	K _{ст} , шт./м ²	M _к , ц/га	У _б , ц/га	M ₁₀₀₀ , г	Одно растение			
						h, см	M _{1к} , г	M _{з/к} , г	K _{з/к} , шт.
<i>Опытное поле 2–12</i>									
1	высокое	388,7	40,6	25,6	36,3	93	1,05	0,66	18,2
2	среднее	273,7	27,6	21,6	34,6	78	1,01	0,79	22,8
3	низкое	188,7	15,6	12,0	32,9	52	0,83	0,64	19,3
4	высокое	271,7	31,7	23,1	37,9	87	1,17	0,85	22,4
5	среднее	278,3	32,0	23,7	36,7	68	1,15	0,85	23,2
6	низкое	176,0	20,1	14,6	35,0	66	1,14	0,83	23,7
7	высокое	263,7	34,3	24,8	36,7	92	1,30	0,94	25,7
8	среднее	252,3	24,6	16,5	35,8	82	0,98	0,66	18,3
9	низкое	271,0	31,0	21,4	36,8	78	1,15	0,79	21,5
Среднее		262,7	28,6	20,4	35,9	77,3	1,08	0,78	21,7
<i>Опытное поле 2–13</i>									
1	высокое	283,3	39,5	30,0	38,2	88	1,40	1,06	27,7
2	среднее	385,0	48,1	36,7	38,3	89	1,25	0,95	24,9
3	низкое	327,3	36,0	26,3	39,6	79	1,10	0,80	20,3
4	высокое	317,3	42,5	30,8	38,9	98	1,34	0,97	25,0
5	среднее	293,7	37,3	27,5	38,4	88	1,27	0,94	24,3
6	низкое	317,7	28,0	19,3	32,8	60	0,88	0,61	18,5
Среднее		320,7	38,6	28,4	37,7	83,7	1,21	0,89	23,5
<i>Опытное поле 2–16</i>									
1	высокое	287,0	44,1	33,6	39,0	85	1,54	1,17	30,0
2	среднее	294,7	41,1	32,1	38,9	70	1,40	1,09	28,0
3	низкое	160,0	20,3	15,5	36,8	55	1,27	0,97	26,4
4	высокое	255,7	34,6	26,7	38,5	75	1,35	1,04	27,1
5	среднее	248,0	30,0	23,4	37,7	66	1,21	0,94	25,1
6	низкое	225,7	29,3	22,7	40,8	55	1,30	1,00	24,6
7	высокое	302,3	41,1	31,7	42,8	86	1,36	1,05	24,5
8	среднее	260,7	33,2	25,9	40,7	70	1,27	0,99	24,5
9	низкое	192,0	24,5	19,0	39,2	60	1,28	0,99	25,3
Среднее		247,3	33,1	25,6	39,4	69,1	1,33	1,03	26,1
<i>Данные статистики изменения показателей</i>									
Среднее		271,4	32,8	24,4	37,6	75,8	1,21	0,90	23,8
–95 %		247,4	29,3	21,7	36,6	70,2	1,14	0,84	22,5
+95 %		295,5	36,3	27,0	38,6	81,5	1,28	0,96	25,1
Статистическое отклонение		56,9	8,2	6,3	2,4	13,4	0,17	0,15	3,2
Коэффициент вариации		21,0	25,1	25,9	6,3	17,7	14,1	16,9	13,3
Статистическая ошибка		11,6	1,7	1,3	0,5	2,7	0,03	0,03	0,6
Примечания: K _{ст} – среднее количество продуктивных стеблей, шт./м ² ; M _к – средняя масса колосьев, ц/га; У _б – средняя биологическая урожайность, ц/га; M ₁₀₀₀ – средняя масса 1 000 зерен, г; h – средняя высота растений, см; M _{1к} – средняя масса одного колоса, г; M _{з/к} – средняя масса зерна в колосе, г; K _{з/к} – среднее количество зерен в колосе, шт.									

(жидкие)) с 70 кг/га (80 л/га) до 130 кг/га (150 л/га) урожайность пшеницы возрастала в среднем на 1,16 ц/га, а в зоне высокого плодородия, в сравнении с зоной низкого, на 8,5 ц/га. То есть фактор зоны плодородия почвы был существенно более значим в условиях года, чем доза внесения минеральных удобрений.

На поле 2–16 исследовалось влияние нормы высева семян и зон плодородия почвы на урожайность пшеницы при постоянной дозе внесения минеральных удобрений (100 кг/га (130 л/га)). Полученное уравнение связи имеет вид:

$$Y_6 = 25,6 - 0,77X_1 + 5,80X_2; R = 0,82 \quad (2)$$

где X_1 – кодовое обозначение нормы высева семян (–1 – минимальная норма высева семян; +1 – максимальная норма высева семян);

X_2 – кодовое обозначение зоны плодородия исследуемого поля (–1 – зона низкого плодородия; +1 – зона высокого плодородия).

С увеличением нормы высева семян от 3,2 до 4,2 млн. шт./га урожайность пшеницы снижалась в среднем на 1,54 ц/га. В зоне же высокого плодородия, в сравнении с зоной низкого, урожайность была в среднем выше на 11,6 ц/га. Тем самым фактор зоны плодородия почвы был существенно более значим в условиях года, чем норма высева семян.

На поле 2–13 исследовалось влияние дифференцированного посева по зонам плодородия почвы и без него. В результате средняя урожайность на контроле (без дифференцированного посева) по трем зонам плодородия поля оказалась равна 25,9 ц/га, а при дифференцированном посеве – 31,0 ц/га.

При этом средние дозы внесения минеральных удобрений (гранулированные (жидкие)) различались и составляли 100 кг/га (110 л/га) (без дифференцированного посева) и 135,3 кг/га (163,0 л/га) (с дифференцированным посевом) соответственно при нормах высева семян 2,7 и 4,1 млн. шт./га соответственно.

В среднем, в зоне высокого плодородия поля получена урожайность на уровне 30,4 ц/га при дозах удобрений, равных 97,0 кг/га (111,5 л/га), и норме высева се-

мян, соответствующей 4,1 млн. шт./га. В зоне среднего плодородия урожайность составила 32,1 ц/га при дозах внесения удобрений 128 кг/га (149 л/га) и норме высева семян 4,1 млн. шт./га; в зоне низкого плодородия поля – 22,8 ц/га при дозах внесения удобрений 128 кг/га (149 л/га) и норме высева семян 3,7 млн. шт./га.

Проведем комплексный анализ влияния исследуемых факторов (нормы высева семян, доз внесения удобрений, зоны плодородия полей) на величину урожайности яровой пшеницы по трем опытным полям (2–12; 2–13 и 2–16). В результате обработки полученных данных установлена следующая зависимость урожайности яровой пшеницы от исследуемых факторов в кодовом виде:

$$Y_6 = 23,8 + 0,74X_1 + 3,09X_2 + 5,02X_3; \quad (3)$$

$$R = 0,72$$

где X_1 – кодовое обозначение нормы высева семян;

X_2 – кодовое обозначение дозы внесения минеральных удобрений;

X_3 – кодовое обозначение зоны плодородия поля.

Анализ уравнения (3) показывает, что наиболее значимое влияние на урожайность пшеницы оказала зона плодородия поля (X_3); на втором месте – доза внесения минеральных удобрений (X_2); на третьем – норма высева семян пшеницы (X_1). Причем значимостью последней (на принятом 5-процентном уровне значимости) можно даже пренебречь.

Тогда полученное уравнение связи будет иметь следующий вид:

$$Y_6 = 29,3 + 3,17X_2 + 5,13X_3; R = 0,73 \quad (4)$$

Как показал проведенный анализ, урожайность пшеницы в условиях исследуемого года увеличивалась пропорционально дозе внесения минеральных удобрений и увеличению плодородия поля. Причем максимальное различие в урожайности в зоне низкого и высокого плодородия составляет 10,2 ц/га, а при минимальной и максимальной дозе внесения удобрений – 6,1 ц/га.

Полученные зависимости справедливы для следующего соотношения доз

внесения жидких и гранулированных минеральных удобрений в опытах:

$$D_{ж} = -13,9 + 1,26D_{г}; R = 0,99 \quad (5)$$

где $D_{ж}$ – доза внесения жидких минеральных удобрений, л/га;

$D_{г}$ – доза внесения гранулированных минеральных удобрений, кг/га.

Проведение технико-экономической оценки сравниваемых вариантов базировалось на величине затрат на удобрения и семена, полученной урожайности пшеницы и качестве зерна.

В основу расчетов была положена биологическая урожайность яровой пшеницы по вариантам опытов, приведенная к влажности зерна 14,0 %. Также приняты следующие цены на приобретение удобрений хозяйством (рублей за одну тонну): АРАВИВА NPK(S) 10:26:26(2) – 43 380; сульфат аммония – 12 618; аммиачная селитра – 15 537; карбамид – 32 732,4. Цена семян пшеницы «Предгорная» составляла 22 000 руб. за тонну.

Расчет затрат на семена и удобрения приведен в таблице 5. Как показывает анализ, диапазон денежных затрат на семена и удобрения по вариантам опытов

Таблица 5 – Расчет затрат на семена и удобрения по вариантам опытов

Table 5 – Calculation of seeds and fertilizer costs for experimental variants

Делянка	Норма высева семян, кг/га	Доза внесения удобрений		Затраты на семена, руб./га	Затраты на удобрения, руб./га		Сумма затрат на удобрения и семена, руб./га
		гранулированных, кг/га	жидких, л/га		гранулированные при посеве	жидкие при подкормке	
<i>Опытное поле 2–12</i>							
1	156,4	70	80	3 440,6	3 031,6	2 821,8	9 293,0
2	156,4	70	80	3 440,6	3 031,6	2 820,8	9 293,0
3	156,4	70	80	3 440,6	3 031,6	2 820,8	9 293,0
4	156,4	100	110	3 440,6	4 330,8	3 878,6	11 650,0
5	156,4	100	110	3 440,6	4 330,8	3 878,6	11 650,0
6	156,4	100	110	3 440,6	4 330,8	3 878,6	11 650,0
7	156,4	130	150	3 440,6	5 630,0	5 289,0	14 359,6
8	156,4	130	150	3 440,6	5 630,0	5 289,0	14 359,6
9	156,4	130	150	3 440,6	5 630,0	5 289,0	14 359,6
<i>Опытное поле 2–13</i>							
1	190,2	94	113	4 184,5	4 071,0	3 984,6	12 240,1
2	190,2	156	188	4 184,5	6 756,0	6 628,9	17 569,4
3	142,7	156	188	3 138,4	6 756,0	6 628,9	16 523,3
4	156,4	100	110	3 440,6	4 330,8	3 878,6	11 650,0
5	156,4	100	110	3 440,6	4 330,8	3 878,6	11 650,0
6	156,4	100	110	3 440,6	4 330,8	3 878,6	11 650,0
<i>Опытное поле 2–16</i>							
1	135,3	100	110	2 975,7	4 330,8	3 878,6	11 185,1
2	135,3	100	110	2 975,7	4 330,8	3 878,6	11 185,1
3	135,3	100	110	2 975,7	4 330,8	3 878,6	11 185,1
4	156,4	100	110	3 440,6	4 330,8	3 878,6	11 650,0
5	156,4	100	110	3 440,6	4 330,8	3 878,6	11 650,0
6	156,4	100	110	3 440,6	4 330,8	3 878,6	11 650,0
7	177,5	100	110	3 905,6	4 330,8	3 878,6	12 115,0
8	177,5	100	110	3 905,6	4 330,8	3 878,6	12 115,0
9	177,5	100	110	3 905,6	4 330,8	3 878,6	12 115,0

существенно различался. При этом минимальная величина затрат на семена и удобрения была в вариантах 1–3 на поле 2–12 (9 293,0 руб./га), а максимальная – в варианте 3 на поле 2–13 (17 569,4 руб./га).

Результаты расчетов экономической эффективности сравниваемых вариантов опытов приведены в таблице 6.

Ввиду высоких различий в урожайности пшеницы, максимум выхода про-

дукции в денежном выражении получен в варианте 2 на поле 2–13 и в варианте 1 на поле 2–16 – 44 840,0 и 44 160,0 руб./га соответственно, а минимум – в варианте 3 на поле 2–12 (17 980,0 руб./га). Тем самым различия очень существенны (2,5 раза).

Как результат, разность стоимости продукции и затрат на семена и удобрения находилась по вариантам опытов в пределах от 7 272,4 руб./га (вариант 8 на

Таблица 6 – Сравнительная эффективность норм высева и доз удобрений по вариантам опытов

Table 6 – Comparative efficiency of seeding rates and fertilizer doses for experimental variants

Поле	Делянка	Затраты на семена и удобрения, руб./га	Уб, ц/га	C _б , %	C _к , %	Класс зерна	Стоимость продукции с учетом классности, руб./га	Разность стоимости продукции и затрат на удобрения, руб./га	В среднем по полю, руб./га
2–12	1	9 293,0	26,3	14,5	21,6	4	31 034,0	21 741,0	14 620,2
	2	9 293,0	22,2	15,3	24,4	3	28 416,0	19 123,0	
	3	9 293,0	12,4	17,0	29,2	2	17 980,0	8 687,0	
	4	11 650,0	23,7	13,8	24,5	3	30 336,0	18 686,0	
	5	11 650,0	24,3	14,4	24,9	3	31 104,0	19 454,0	
	6	11 650,0	15,2	14,8	25,0	3	19 456,0	7 806,0	
	7	14 359,6	25,0	14,0	22,0	4	29 500,0	15 140,4	
	8	14 359,6	16,9	14,8	25,4	3	21 632,0	7 272,4	
	9	14 359,6	21,9	14,3	24,4	3	28 032,0	13 672,4	
2–13	1	12 240,1	30,9	14,9	23,5	3	39 552,0	27 311,9	23 823,4
	2	17 569,4	38,0	13,4	22,8	4	44 840,0	27 270,6	
	3	16 523,3	26,9	14,7	25,5	3	34 432,0	17 908,7	
	4	11 650,0	31,7	14,6	26,2	3	40 576,0	28 926,0	
	5	11 650,0	28,1	14,8	25,6	3	35 968,0	24 318,0	
	6	11 650,0	19,9	15,3	27,7	2	28 855,0	17 205,0	
2–16	1	11 185,1	34,5	15,1	27,0	3	44 160,0	32 974,9	22 940,9
	2	11 185,1	33,2	14,9	26,2	3	42 496,0	31 310,9	
	3	11 185,1	16,0	15,0	26,3	3	20 480,0	9 294,9	
	4	11 650,0	27,5	15,7	25,6	3	35 200,0	23 550,0	
	5	11 650,0	24,1	15,7	28,1	2	34 945,0	23 295,0	
	6	11 650,0	23,4	14,7	23,6	3	29 952,0	18 302,0	
	7	12 115,0	32,4	14,5	27,5	3	41 472,0	29 357,0	
	8	12 115,0	26,6	14,8	26,5	3	34 048,0	21 933,0	
	9	12 115,0	19,7	15,6	28,1	2	28 565,0	16 450,0	

Примечания: 1. C_б – содержание белка, %; C_к – содержание клейковины, %;
 2. Класс зерна определен с учетом требований ГОСТ Р 9353–2016 «Пшеница. Технические условия».
 3. В расчетах приняты средневзвешенные цены на зерно (на 20.10.2024): одна тонна зерна 2 класса – 14 500 руб.; одна тонна зерна 3 класса – 12 800 руб.; одна тонна зерна 4 класса – 11 800 руб.

поле 2–12) до 32 974,9 руб./га (вариант 1 на поле 2–16). Различия высоко значимы и достигают 4,5 раза.

При этом на поле 2–13 в среднем получена наиболее высокая доходность (23 823,4 руб./га); несколько ниже она была на поле 2–16 (22 940,9 руб./га); на поле 2–12 доходность была самая низкая (14 620,2 руб./га).

Таким образом, применение различных доз внесения минеральных удобрений и норм высева семян по зонам плодородия полей очень существенно влияет на структуру урожая, величину затрат и экономическую эффективность. Поэтому правильное применение дифференцированного посева и внесения удобрений по зонам плодородия почвы на полях является значимым направлением повышения эффективности производства зерна.

Заключение. 1. *Исследуемые факторы в опытах (уровень плодородия поля, норма высева семян и доза внесения удобрений) в условиях года оказали существенное влияние на урожайность.*

2. *В полевом опыте № 1 (поле 2–12) с увеличением дозы внесения удобрений (гранулированные (жидкие)) с 70 кг/га (80 л/га) до 130 кг/га (150 л/га) урожайность пшеницы возростала в среднем на 1,16 ц/га, тогда как в зоне высокого плодородия, в сравнении с зоной низкого, на 8,5 ц/га. Тем самым фактор зоны плодородия почвы был существенно более значим в условиях года, чем доза внесения минеральных удобрений.*

3. *В полевом опыте № 2 (поле 2–13, дифференцированный посев) средняя урожайность на контроле по трем зонам плодородия поля составила 25,9 ц/га, а при дифференцированном посеве достигала 31,0 ц/га. При этом средние дозы внесения минеральных удобрений (гранулированные (жидкие) различались и составляли 100 кг/га (110 л/га) (без дифференцированного посева) и 135,3 кг/га (163,0 л/га) (с дифференцированным посевом) соответственно при нормах высева семян 2,7 и 4,1 млн. шт./га соответственно.*

4. *В полевом опыте № 3 (поле 2–16) с увеличением нормы высева семян от 3,2 до 4,2 млн. шт./га урожайность пшеницы снижалась в среднем на 1,54 ц/га. В зоне же высокого плодородия, в сравнении с зо-*

ной низкого, урожайность была в среднем выше на 11,6 ц/га. Таким образом, фактор зоны плодородия почвы был существенно более значим в условиях года, чем норма высева семян.

5. *Комплексный анализ урожайности пшеницы на трех полях хозяйства позволил установить, что наиболее значимое влияние на нее оказала зона плодородия поля (X_3); на втором месте – доза внесения минеральных удобрений (X_2); на третьем – норма высева семян пшеницы (X_1).*

6. *Полевой опыт № 1. Поле 2–12 (норма высева семян 3,7 млн. шт./га; варьируемые факторы – доза внесения минеральных удобрений и зона плодородия почвы). Наибольшая экономическая эффективность достигнута в варианте 1 при внесении гранулированных удобрений в дозе 70 кг/га и жидких 80 л/га в зоне высокого плодородия поля. Величина разности выхода продукции и затрат на семена и удобрения составила 21 741 руб./га.*

7. *Полевой опыт № 2. Поле 2–13 (дифференцированный посев). Лучшая экономическая эффективность достигнута в варианте 4 при внесении гранулированных и жидких удобрений в объеме 100 кг/га (110 л/га) в зоне высокого плодородия почвы при норме высева семян, равной 3,7 млн. шт./га. Разность выхода продукции и затрат на семена и удобрения получена на сумму 28 926,0 руб./га. В среднем по трем зонам плодородия почвы при дифференцированном посеве и без урожайность получена на уровне 31,9 и 26,6 ц/га соответственно. С учетом доз внесения гранулированных и жидких минеральных удобрений, а также норм высева семян, разность выхода продукции и величины затрат на семена и удобрения получена 24 163,7 и 23 483,0 руб./га соответственно. Экономический эффект от дифференцированного посева составил 680,7 руб./га.*

8. *Полевой опыт № 3. Поле 2–16 (доза внесения гранулированных удобрений 100 кг/га, жидких – 110 л/га; варьируемые факторы – норма высева семян и зона плодородия почвы). Наибольший экономический эффект получен в варианте 1 при норме высева семян 3,2 млн. шт./га в зоне высокого плодородия поля. Разность выхода продукции и затрат на семена и удобрения составила 32 974,9 руб./га.*

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Naiqian Zh., Maohua W., Ning W. Precision agriculture – a worldwide overview // Computers and Electronics in Agriculture. 2002. Vol. 36. Iss. 2–3. P. 113–132. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00096-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00096-0).
2. Feyisa D. S., Jiao X., Mojo D. Wheat yield response to chemical nitrogen fertilizer application in Africa and China: a meta-analysis // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 2024. No. 24. P. 102–114. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01609-5>.
3. Belyaev V. I., Buxmann V., Pirozhkov D. N., Chernyshkov V. N. Efficiency of differentiated sowing of spring wheat in the steppe zone of the Novosibirsk region // Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2022) : International Scientific Conference. Springer Cham, 2024. P. 1131–1140. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37978-9_109.
4. Hnizil O., Baidani A., Khlila I., Nsarellah N., Laamari A., Amamou A. Integrating NDVI, SPAD, and canopy temperature for strategic nitrogen and seeding rate management to enhance yield, quality, and sustainability in wheat cultivation // Plants. 2024. No. 13 (11). P. 1574. <https://doi.org/10.3390/plants13111574>.
5. Vizzari M., Santaga F., Benincasa P. Sentinel 2-based nitrogen VRT fertilization in wheat: Comparison between traditional and simple precision practices // Agronomy. 2019. No. 9. P. 278. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060278>.
6. Saharsh M., Rajesh S., Thakur I. Response of nitrogen and plant growth regulators on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) // International Journal of Plant and Soil Science. 2023. No. 35 (18). P. 66–73. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i183267>.
7. Гамзиков Г. П. Точное земледелие в Сибири: реальности, проблемы и перспективы // Земледелие. 2022. № 1. С. 3–9. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-1-3-9>.
8. Абрамов Н. В., Еремина Д. В., Еремин Д. И. Агрэкономическое обоснование применения минеральных удобрений под яровую пшеницу в Северном Зауралье // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2010. № 5. С. 11–17.
9. Агроноут : [сайт]. URL: <https://agronote.ru/> (дата обращения: 20.06.2024).
10. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М. : Альянс, 2011. 352 с.

References

1. Naiqian Zh., Maohua W., Ning W. Precision agriculture – a worldwide overview. Computers and Electronics in Agriculture, 2002;36;2–3:113–132. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00096-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00096-0).
2. Feyisa D. S., Jiao X., Mojo D. Wheat yield response to chemical nitrogen fertilizer application in Africa and China: a meta-analysis. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 2024;24:102–114. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01609-5>.
3. Belyaev V. I., Buxmann V., Pirozhkov D. N., Chernyshkov V. N. Efficiency of differentiated sowing of spring wheat in the steppe zone of the Novosibirsk region. Proceedings from Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2022): International Scientific Conference. (PP. 1131–1140), Springer Cham, 2024. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37978-9_109.
4. Hnizil O., Baidani A., Khlila I., Nsarellah N., Laamari A., Amamou A. Integrating NDVI, SPAD, and canopy temperature for strategic nitrogen and seeding rate management to enhance yield, quality, and sustainability in wheat cultivation. Plants, 2024;13(11):1574. <https://doi.org/10.3390/plants13111574>.
5. Vizzari M., Santaga F., Benincasa P. Sentinel 2-based nitrogen VRT fertilization in wheat: Comparison between traditional and simple precision practices. Agronomy, 2019;9:278. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060278>.

6. Saharsh M., Rajesh S., Thakur I. Response of nitrogen and plant growth regulators on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Plant and Soil Science*, 2023;35(18):66–73. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i183267>.
7. Gamzikov G. P. Precision farming in Siberia: realities, challenges and prospects. *Zemledelie*, 2022;1:3–9. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-1-3-9> (in Russ.).
8. Abramov N. V., Eremina D. V., Eremin D. I. Agroeconomic justification for the use of mineral fertilizers for spring wheat in the Northern Trans-Urals. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2010;5:11–17 (in Russ.).
9. Agronout. *Agronote.ru*. Retrieved from <https://agronote.ru/> (Accessed 20 June 2024) (in Russ.).
10. Dospikhov B. A. *Methodology of field experiment (with basics of statistical processing of research results)*, Moscow, Al'yans, 2011, 352 p. (in Russ.).

© Беляев В. И., Пирожков Д. Н., Тагильцев А. В., Соколова Л. В., 2025

Статья поступила в редакцию 20.02.2025; одобрена после рецензирования 10.03.2025; принята к публикации 12.03.2025.

The article was submitted 20.02.2025; approved after reviewing 10.03.2025; accepted for publication 12.03.2025.

Информация об авторах

Беляев Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор, Алтайский государственный аграрный университет, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4396-2202>, Author ID: 695114, prof-belyaev@yandex.ru;

Пирожков Дмитрий Николаевич, доктор технических наук, профессор, Алтайский государственный аграрный университет, Author ID: 408921, mms.asau@yandex.ru;

Тагильцев Андрей Владимирович, аспирант, Алтайский государственный аграрный университет, andrey20291@gmail.com;

Соколова Людмила Валерьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Алтайский государственный университет, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5171-3965>, Author ID: 840108, l.v.sokol@mail.ru

Information about the authors

Vladimir I. Belyaev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Altai State Agrarian University, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4396-2202>, Author ID: 695114, prof-belyaev@yandex.ru;

Dmitriy N. Pirozhkov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Altai State Agrarian University, Author ID: 408921, mms.asau@yandex.ru;

Andrey V. Tagiltsev, Postgraduate Student, Altai State Agrarian University, andrey20291@gmail.com;

Lyudmila V. Sokolova, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Altai State University, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5171-3965>, Author ID: 840108, l.v.sokol@mail.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.