

АГРОНОМИЯ

AGRONOMY

Научная статья

УДК 631.58:633.11(571.150)

EDN ZMQERL

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-2-5-16>

**Оценка эффективности точного земледелия
при возделывании яровой пшеницы в Алтайском крае в 2022 и 2023 гг.**

**Владимир Иванович Беляев¹, Виктор Викторович Садов²,
Андрей Алексеевич Смышляев³, Евгения Дмитриевна Кошелева⁴**

^{1, 2, 3, 4} Алтайский государственный аграрный университет

Алтайский край, Барнаул, Россия

¹ prof-belyaev@ya.ru, ² sadov.80@mail.ru, ³ an_smish_asau@mail.ru, ⁴ jten@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрено влияние норм высева семян и доз внесения минеральных удобрений по зонам почвенного плодородия поля на эффективность производства яровой пшеницы в условиях Алтайского края. Выявлена значимость исследуемых факторов и установлено влияние почвенного плодородия на урожайность и, в конечном итоге, на экономический эффект. Доказана высокая эффективность правильного применения дифференцированного посева и внесения минеральных удобрений. В 2022 г. наибольшая биологическая урожайность в зоне высокого плодородия почвы достигала 41,5 ц/га, в зоне среднего плодородия – 37,2 ц/га, в зоне низкого плодородия – 37,8 ц/га. Для 2023 г. значения биологической урожайности в этих зонах были 30,7; 34,4 и 25,8 ц/га соответственно. Зоны плодородия влияли на урожайность в большей степени, чем изменение норм посева семян и доз внесения удобрений в пределах одной зоны. В 2022–2023 гг. различия средней биологической урожайности между зонами составляли 6–7 ц/га, что в 2,5–3 раза больше, чем при вариациях нормы посева семян и доз внесения удобрений. Наилучший вариант точного земледелия в пределах поля в сравнении с традиционным возделыванием пшеницы принес удельную прибыль выше на 5 700 руб./га в 2022 г. и на 4 438 руб./га в 2023 г.

Ключевые слова: яровая пшеница, норма высева, минеральные удобрения, зоны почвенного плодородия, точное земледелие, дифференцированный посев, дифференцированное внесение удобрений, урожайность, качество зерна, экономическая эффективность точного земледелия, Алтайский край

Благодарности: исследование проведено по хоздоговорной теме № 45/2023–4 «Совершенствование технологии возделывания яровой пшеницы в ООО «Чарышское» Усть-Калманского района с применением дифференцированного посева», а также за счет средств федерального бюджета в рамках государственного задания Министерства сельского хозяйства России (номер государственной регистрации темы 1023032000002–5–4.1.1).

Для цитирования: Беляев В. И., Садов В. В., Смышляев А. А., Кошелева Е. Д. Оценка эффективности точного земледелия при возделывании яровой пшеницы в Алтайском крае в 2022 и 2023 гг. // Дальневосточный аграрный вестник. 2024. Том 18. № 2. С. 5–16. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-2-5-16>.

Evaluation of effectiveness of precision farming in spring wheat cultivation in Altai krai in 2022 and 2023

Vladimir I. Belyaev¹, Viktor V. Sadov²,
Andrey A. Smyshlyaev³, Evgeniya D. Kosheleva⁴

^{1, 2, 3, 4} Altai State Agrarian University, Altai krai, Barnaul, Russian Federation

¹ prof-belyaev@ya.ru, ² sadov.80@mail.ru, ³ an_smish_asau@mail.ru, ⁴ jten@yandex.ru

Abstract. The article gives the results of studies of the effect of seed sowing rates and doses of mineral fertilizers in zones of soil fertility of the field on spring wheat production in the conditions of Altai krai. The significance of the studied factors has been revealed. The influence of soil fertility on productivity and, ultimately, on the economic effect has been established. The high efficiency of the correct use of differentiated sowing and the application of mineral fertilizers has been proven. In 2022, the highest biological yield in the zone of high soil fertility reached 41.5 c/ha, in the zone of medium fertility – 37.2 c/ha, in the zone of low fertility – 37.8 c/ha. For 2023, the values of biological yield in these zones were 30.7; 34.4 and 25.8 c/ha, respectively. Fertility zones affected yields to a greater extent than changes in seed sowing rates and fertilizer doses within one zone. In 2022–2023 the differences in average biological yield between zones were 6–7 c/ha, which was 2.5–3 times more than with variations in seed sowing rates and fertilizer doses. The best option of precision farming within a field compared to traditional wheat cultivation has provided specific profit more by 5,700 and 4,438 rubles/ha in 2022 and 2023, respectively.

Keywords: spring wheat, seeding rate, mineral fertilizers, soil fertility zones, precision farming, differentiated sowing, differentiated fertilization, yield, grain quality, economic efficiency of precision farming, Altai krai

Acknowledgements: the research was carried out within the framework of the contractual theme No. 45/2023–4 "Improvement of spring wheat cultivation technology in LLC "Charyshskoye" Ust-Kalmansky district with the use of differentiated sowing" and at the expense of the federal budget within the framework of the state task of the Ministry of Agriculture of Russia (theme state registration number 1023032000002–5–4.1.1.1).

For citation: Belyaev V. I., Sadov V. V., Smyshlyaev A. A., Kosheleva E. D. Evaluation of effectiveness of precision farming in spring wheat cultivation in Altai krai in 2022 and 2023. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik*. 2024;18;2:5–16. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-2-5-16>.

Введение. Основным фактором, влияющим на развитие предприятия, является эффективность производства. Для сельскохозяйственного производства, в частности отрасли растениеводства, эффективность зависит от множества факторов, таких как плодородие почвы, количество осадков, применяемой технологии и других.

Использование ресурсосберегающих технологий No-till, Strip-till или Mini-till позволяет значительно снизить затраты на механическую обработку почвы. Получаемый распространение дифференцированный посев дает возможность выявить оптимальные соотношения доз внесения удобрений и семян для различных зон плодородия [1–7]. Насколько эти факторы

оказывают значимое влияние на эффективность производства зерна, оценим на основе сравнительного анализа результатов двух сезонов – 2022 и 2023 гг.

Цель исследования – оценка экономической эффективности дифференцированного внесения семян и минеральных удобрений при возделывании яровой пшеницы в условиях Алтайского края.

Материалы и методы исследования. Исследование влияния различных вариантов нормы высева семян и внесения минеральных удобрений на развитие растений, формирование урожая и качество зерна проводили в ООО «Чарышское» Усть-Калманского района Алтайского края в 2022 и 2023 гг. Возделывался сорт яровой пшеницы «Буран».

В 2022 г. на поле площадью 411,93 га посев проводился с 5 по 8 мая, в 2023 г. на поле площадью 217,51 га – 20 мая. Тип почвы на данных полях одинаков – чернозем обыкновенный. В 2022 г. предшественником яровой пшеницы была зерносмесь, в 2023 г. – рапс.

Осенняя обработка почвы не проводилась. Удобрения вносились вместе с семенами при посеве согласно плану опыта. Посев выполнялся агрегатом NH 9040 + DMC-12000 2С.

Опыты реализованы на полях в трех различных зонах почвенного плодородия (рис. 1) при трех различных сочетаниях норм высева семян и доз внесения минеральных удобрений (табл. 1). Всего реализовано ежегодно по 27 вариантов.

Из приведенных данных вариант со средними значениями использовался при недифференцированном посеве и недифференцированном внесении удобрений на указанных полях: 2022 г.: норма высева семян – 152 кг/га, доза внесения удобрений – 100 кг/га; 2023 г. норма высева семян – 120 кг/га, доза внесения удобрений – 90 кг/га.

Особое значение в формировании урожая оказывает водный режим почвы. На рисунке 2 представлены графики количества влаги в метровом слое на момент

посева и суммы месячных осадков вегетационного периода.

В 2022 г. с мая по август количество осадков в условиях года было ниже среднего многолетнего на 22 мм (12 %). Причем, если в мае выпало всего 8 % нормы, то в июне – 170 % от нормы.

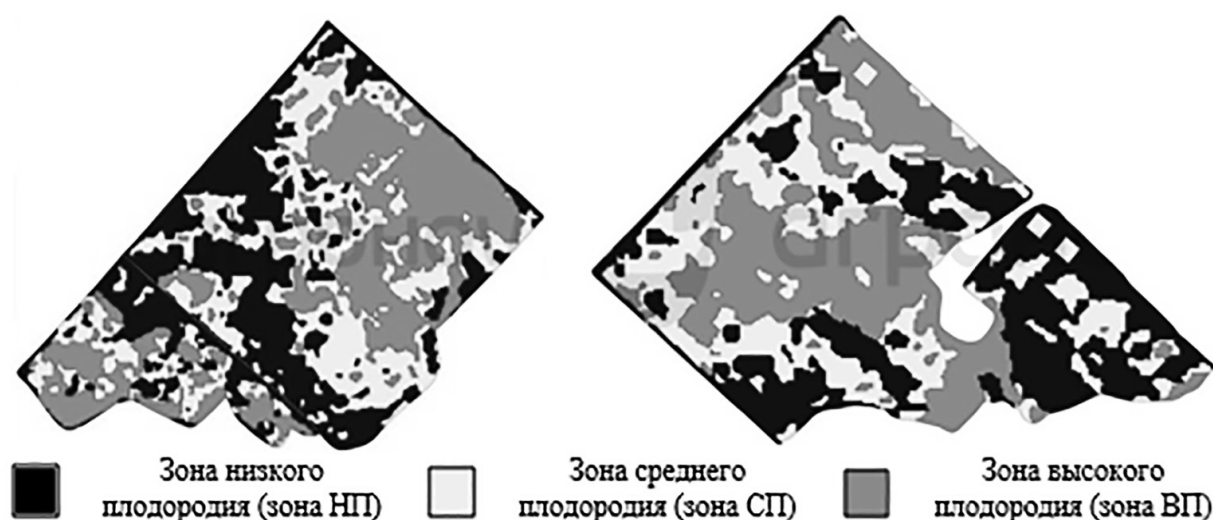
В 2023 г. за тот же период количество осадков в условиях года было ниже среднего многолетнего на 50 мм (23,4 %). При этом с мая по июль выпало всего 40 – 43 % нормы, а в августе – 225 % от нормы, что, как и ожидалось, негативно повлияло на урожайность и качество зерна.

В 2022 г. опыты закладывались 05–08 мая и далее измерения на опытных деланках проводились 07.05; 31.05; 15.06; 06.07; 19.07; 11.08.

В 2023 г. в связи с более поздним посевом опыты закладывались 20–21 мая, первые измерения делались 6 июня и далее по графику работ – 22.06; 06.07; 24.07; 07.08; 28.08.

Замеряемые в опытах показатели позволили всесторонне контролировать всхожесть, условия произрастания и полученный урожай яровой пшеницы.

При измерении всходов применялись линейки и рулетки. Для определения влажности почвы использовался влагомер



**Рисунок 1 – Опытные поля с зонами плодородия ООО «Чарышское»
Усть-Калманского района Алтайского края:
2022 г.: площадь поля 411,93 га (слева); 2023 г.: площадь поля 217,51 га (справа)**
**Figure 1 – Experimental fields with fertility zones of LLC "Charyshskoye"
in Ust-Kalman district, Altai krai:
field area in 2022 – 411.93 ha (left); field area in 2023 – 217.51 ha (right)**

Таблица 1 – План-матрица полевых опытов для каждой из трех зон почвенного плодородия на полях в 2022 и 2023 гг.

Table 1 – Plan matrix of field experiments for each of three zones of soil fertility on fields in 2022 and 2023

Номер делянки	2022 г.		2023 г.	
	норма высева семян, кг/га	доза внесения удобрений, кг/га	норма высева семян, кг/га	доза внесения удобрений, кг/га
1	152	80	120	63
2	152	100	120	90
3	152	120	120	117
4	133	100	80	90
5	171	100	160	90
6	133	80	80	63
7	171	120	160	117
8	133	120	80	117
9	171	80	160	63

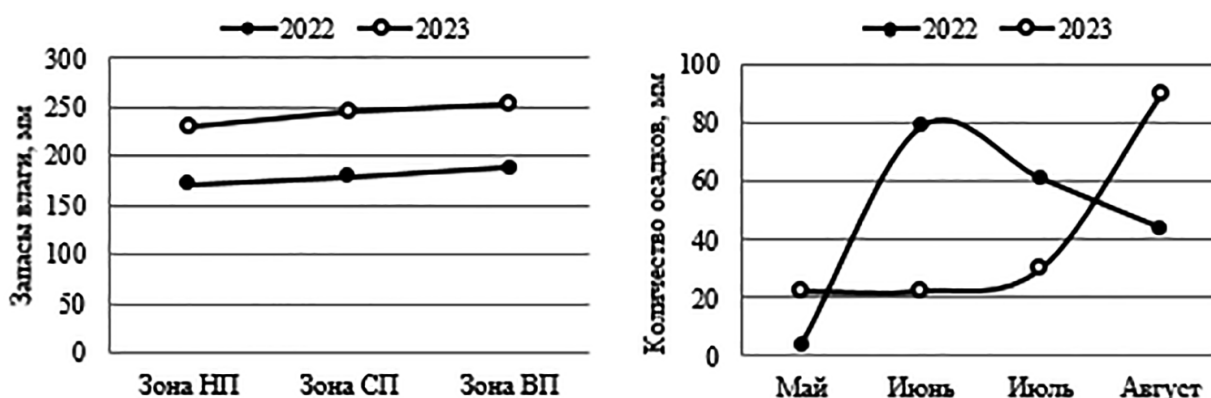


Рисунок 2 – Количество влаги на момент посева в метровом слое (слева) и количество осадков за вегетационный период (справа) по данным метеостанции с. Усть-Калманка Алтайского края

Figure 2 – Moisture amount at the time of sowing in a meter layer (left) and precipitation amount during the growing season (right) according to weather station database in Ust-Kalmanka, Altai krai

НН-2«Delta-T Devices». На стадии оценки урожая были задействованы автоматический счетчик зерна SLY-C, прибор для определения влажности зерна PFEUFFER, электронные весы BM 313, определитель клейковины, протеина Инфралюм ФТ-10.

Достоверность полученных данных обеспечивалась многократной повторностью измерений. Глубина заделки семян, высота растений на каждой деланке определялись в 15-ти кратной повторности, а замеры влажности, счет количества всходов, биологический учет урожая – в

5-ти кратной. При статистическом анализе данных считались средние значения, среднеквадратичные отклонения, коэффициенты вариации и асимметрии, выполнялась процедура аппроксимации зависимостей, оценивалась теснота связи. Применяемые методики в полевых опытах соответствовали общепринятым подходам [8].

Результаты исследований и их обсуждение. Проведенные полевые опыты по трем зонам плодородия позволили получить данные по показателям высеян-

ных семян ($K_{\text{выс}}$), всходов ($K_{\text{всх}}$) и полевой всхожести пшеницы ($P_{\text{в}}$) для каждого полевого опыта. Средние значения этих показателей для каждой зоны плодородия приведены в таблице 2.

Несмотря на уменьшение в 2023 г. почти на четверть нормы высева семян (примерно на 100 шт./м²) по сравнению с 2022 г., среднее количество всходов получилось примерно равным в эти два года, что объясняется большей полевой всхожестью семян в 2023 г. Тем самым в каждой зоне в среднем наблюдалось приблизительно одинаковое количество всходов.

В 2023 г. запасы влаги в метровом слое на момент посева (рис. 2, слева) были больше на 65 мм, чем в 2022 г., что обеспечило большую всхожесть семян на фоне уменьшения нормы посева и фактически равные условия старта в полевом опыте по количеству всходов в эти два года.

Нормы высева семян, всхожесть, температуры вегетационного периода, водный режим почвы и ее плодородие, дозы удобрений оказали непосредственное влияние на формирование урожая. Графики зависимостей удельного расхода влаги от урожайности пшеницы для обоих лет демонстрируют наличие отдельных устойчивых совокупностей для каждой зоны плодородия (рис. 3). Чем больше урожай, тем меньше удельной влаги нужно на производство 1 ц зерна.

В пределах каждой зоны плодородия для 2022 г. зависимости аппроксимируются степенной функцией с достоверностью значений коэффициента детерминации от 0,78 до 0,86. В 2023 г. хорошая аппроксимация получилась только для зоны низкого плодородия, а для зон среднего и высокого плодородия зависимости не

прослеживаются с достаточной достоверностью. Точки данных размываются в облако данных: потенциал этих зон не был реализован в достаточной степени из-за дефицита влаги, вызванного малыми осадками в период с мая по июль 2023 г., что показано на рисунке 2 (справа).

Чтобы оценить степень интенсивности засухи можно в качестве одного из критериев использовать гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова (ГТК) [9]. В 2022 г. ГТК вегетационного периода соответствовал зоне засушливого земледелия (0,84), а ГТК 2023 г. вплотную приблизился к верхней границе зоны очень засушливого земледелия (0,73). Особо удручающими были месячные значения гидротермического коэффициента летнего периода 2023 г.: июнь – 0,36 (сухая зона), июль – 0,45 (очень засушливая зона). Тем не менее, осадки августа и примененные технологии возделывания культуры позволили получить максимальные урожаи для разных зон плодородия в пределах 25–34 ц/га, что превышает среднюю урожайность зерновых по Алтайскому краю в этом проблемном году (13,8 ц/га) в 2–3 раза [10].

Технико-экономическая оценка сравниваемых вариантов опыта основывалась на величине затрат на удобрения и семена, полученной урожайности пшеницы и качестве зерна. В основу расчетов положены биологическая урожайность яровой пшеницы, приведенная к 12 % влажности зерна в 2022 г., и 14 % влажности в 2023 г.; цены на приобретение удобрений хозяйством (табл. 3) и цены реализации зерна урожая с учетом его классности. К затратам на семена и удобрения добавлялись также затраты на внесение подкормок,

Таблица 2 – Средние значения показателей посева по зонам плодородия на опытных полях хозяйства ООО «Чарышское» Усть-Калманского района Алтайского края в 2022, 2023 гг.

Table 2 – Average values of sowing indicators by fertility zones on experimental fields of LLC "Charyshskoye" in Ust-Kalman district, Altai krai in 2022 and 2023

Зона плодородия	2022 г.			2023 г.		
	$K_{\text{выс}}$, шт/м ²	$K_{\text{всх}}$, шт/м ²	$P_{\text{в}}$, %	$K_{\text{выс}}$, шт/м ²	$K_{\text{всх}}$, шт/м ²	$P_{\text{в}}$, %
Низкая	390,4	216,6	55,9	294,0	215,5	72,3
Средняя	390,4	206,6	53,2	294,0	229,9	77,5
Высокая	390,4	179,6	46,2	294,0	228,3	75,9

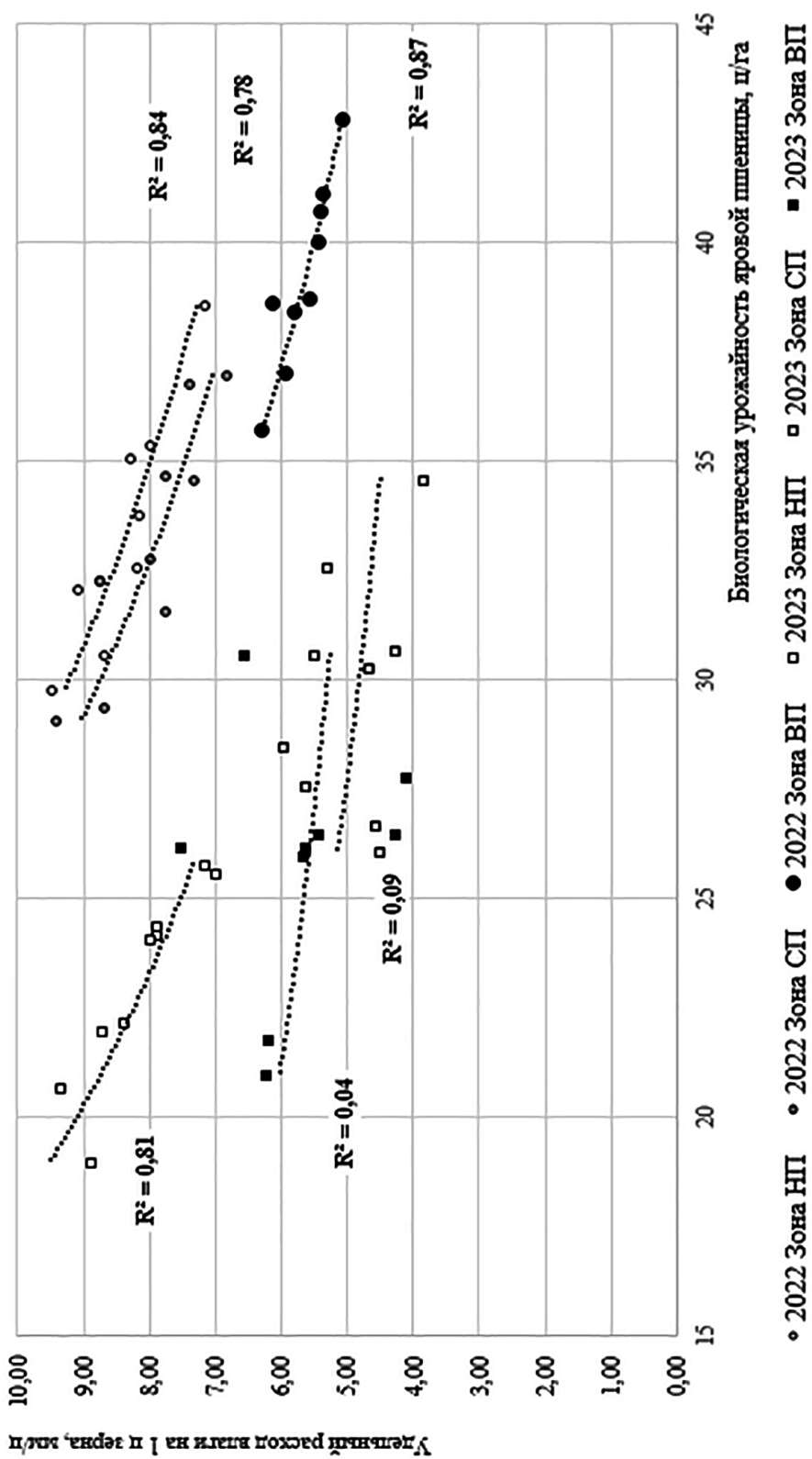


Рисунок 3 – Удельный расход влаги по зонам плодородия на 1 ц зерна в зависимости от урожайности пшеницы
 Figure 3 – Specific moisture consumption by fertility zones per 1 centner of grain depending on wheat yield

Таблица 3 – Закупочные цены на семена и удобрения в ООО «Чарышское» Алтайского края в 2022 и 2023 гг.

Table 3 – Purchase prices for seeds and fertilizers in LLC "Charyshskoye", Altai krai in 2022 and 2023

В рублях за тонну (in rubles per ton)

Перечень удобрений и семян	Закупочная цена	
	2022 г.	2023 г.
Аммиачная селитра	22 485	–
Аммофос	–	53 735
Карбамид	33 850	34 300
Сульфат магния	–	31 000
Пшеница сорт «Буран»	11 000	27 000

которые были одинаковы для всего поля целиком и, например, в 2023 г. они составили 672,8 руб./га.

Результаты полученных расчетов представлены на рисунке 4, где демонстрируется зависимость разности стоимости полученного зерна и затрат на семена и удобрения от биологической урожайности яровой пшеницы для трех зон плодородия. Варианты с наибольшей прибылью отмечены подписью данных в последовательности: зона плодородия, урожайность, прибыль и величина коэффициента детерминации достоверности тесноты связи для аппроксимирующей функции.

Сравнение наилучших вариантов применения точного земледелия (рис. 4) с вариантом недифференцированного посева и внесения удобрений приведено в таблице 4.

В 2022 г. в зоне низкого и среднего плодородия лучшие варианты по прибыли имели урожайность меньше максимально достигнутой, но имели третий класс зерна (более высокий, чем у вариантов с максимальной урожайностью). И максимальная урожайность уменьшалась от зоны к зоне при уменьшении плодородия почвы.

В 2023 г. на фоне недостатка влаги не удалось получить класс зерна 3, потому лучший вариант по урожайности был и лучшим вариантом по прибыли. И наибольший урожай получился в зоне среднего плодородия, затем находилась зона высокого и затем низкого плодородия.

Чтобы оценить эффективность точного земледелия в сравнении с традиционным, для опытных полей были произведены расчеты с рекомендованными

наилучшими вариантами сочетаний «норма высева – доза удобрений» и выполнено сравнение с вариантом недифференцированного посева и внесения удобрений, что продемонстрировано в таблице 5.

Разница стоимости продукции и затрат на семена и удобрения сравниваемых вариантов на самом деле может считаться разницей чистой прибыли, потому что остальные затраты, которые несет предприятие при выращивании яровой пшеницы, будут одинаковы для этих вариантов: заработная плата, расходы на горюче-смазочные материалы, амортизационные расходы и другие.

Для 2022 г. с ГТК вегетационного периода, равным 0,84, разница удельной прибыли для всего поля целиком при применении точного и традиционного земледелия составила 5 700 руб./га.

Для 2023 г., когда в летние месяцы ГТК доходил до значений в 0,36 и в условиях повышения цен на семена почти в 2 раза, разница в удельной прибыли все равно была существенной и близкой к предыдущему году – 4 438 руб./га.

При обработке полевых опытов считались показатели и в среднем по зонам. В процессе обработки данных было установлено, что зона почвенного плодородия является наиболее значимым фактором влияния на урожай пшеницы.

Так, в 2022 г. наибольшая средняя биологическая урожайность получена в зоне высокого плодородия почвы, достигнув уровня 39,2 ц/га, а в зонах низкого и среднего плодородия соответственно 33,4 и 33,1 ц/га. Преимущество в зоне высокого плодородия достигнуто как за счет

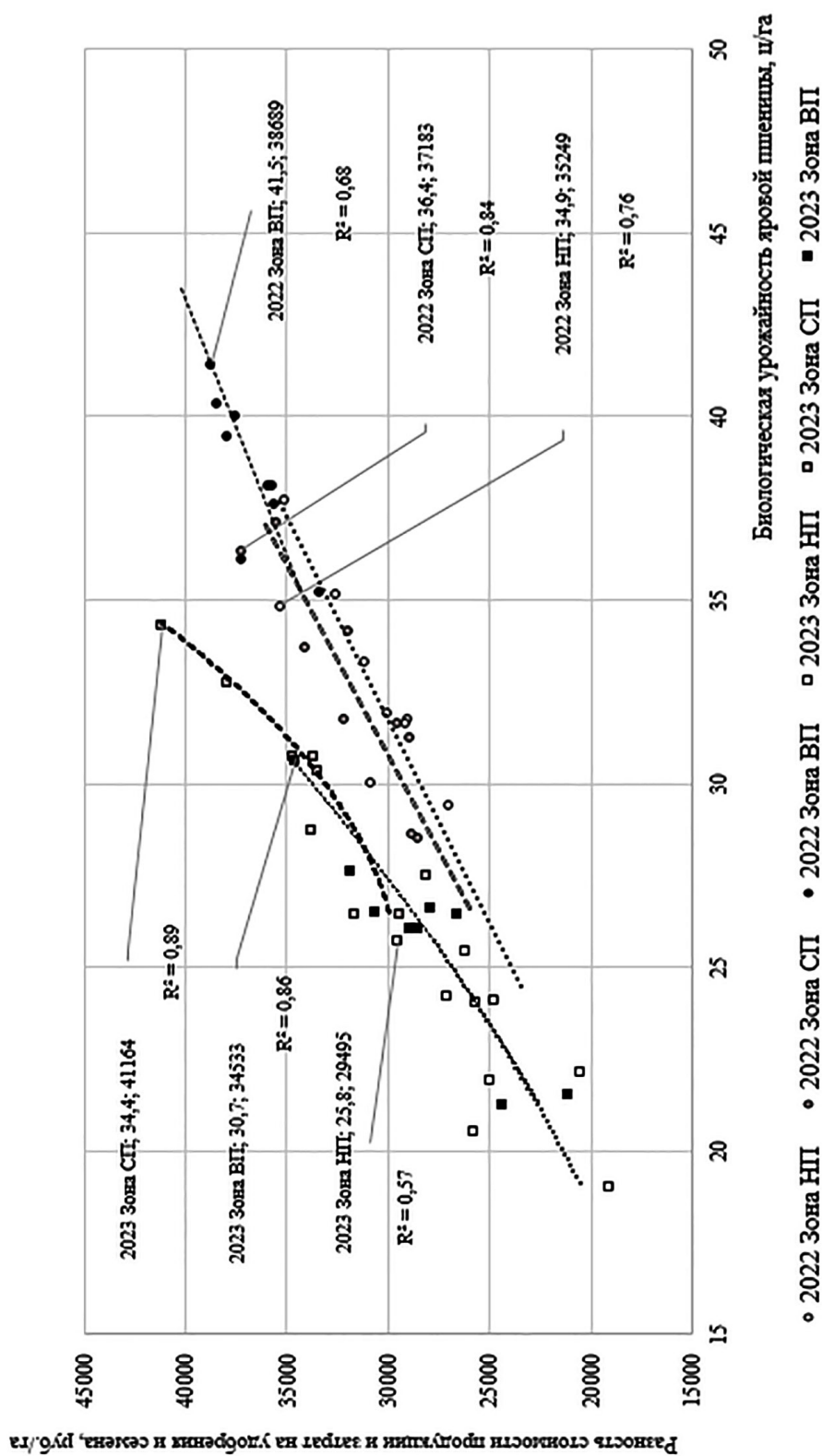


Рисунок 4 – Зависимость разности стоимости продукции и затрат на семена и удобрения от урожайности пшеницы на опытных полях ООО «Чарышское» по зонам плодородия в 2022 и 2023 гг.

Figure 4 – Dependence of difference between the cost of production and cost of seeds and fertilizers on wheat yield on experimental fields of LLC "Charyshskoye" by fertility zones in 2022 and 2023

Таблица 4 – Сравнение наилучших вариантов применения точного земледелия с вариантом традиционного земледелия, полученных в 2022 и 2023 гг. на опытных полях ООО «Чарышское»

Table 4 – Comparison of the best options of precision farming with traditional farming, obtained on experimental fields of LLC "Charyshskoye" in 2022 and 2023

Зона	Вариант	Рейтинг из 9 мест		Н _с , кг/га	Н _у , кг/га	З _с + З _у , руб./га	У ₆ , ц/га	Класс зерна	Р, руб/га	Р _р , руб./га
		У ₆	Р _р							
2022 г.										
НП	лучший по У ₆	1	2	152	120	4 677	37,8	4	39 690	35 013
	лучший по Р _р	3	1	171	120	4 886	34,9	3	40 135	35 249
	недифф.	7	7	152	100	4 228	31,7	4	33 285	29 057
СП	лучший по У ₆	1	2	133	80	3 569	37,2	4	39 060	35 491
	лучший по Р _р	2	1	152	120	4 677	36,4	3	41 860	37 183
	недифф.	8	8	152	100	4 228	28,7	3	33 005	28 777
ВП	лучший	1	1	171	120	4 886	41,5	4	43 575	38 689
	недифф.	5	5	152	100	4 228	38,2	4	40 110	35 882
2023 г.										
НП	лучший	1	1	120	63	6 625	25,8	4	36 120	29 495
	недифф.	5	5	120	90	8 076	24,1	4	33 740	25 664
СП	лучший	1	1	80	90	6 996	34,4	4	48 160	41 164
	недифф.	2	2	120	90	8 076	32,8	4	45 920	37 844
ВП	лучший	1	1	80	117	8 447	30,7	4	42 980	34 533
	недифф.	6	5	120	90	8 076	26,1	4	36 540	28 464
Примечания: Н _с – норма высева семян, кг/га; Н _у – доза внесения удобрений, кг/га; З _с + З _у – сумма удельных затрат на семена и удобрения в закупочных ценах соответствующего года, руб./га; У ₆ – биологическая урожайность яровой пшеницы, приведенной к 12 % (2022 г.) и 14 % (2023 г.) влажности зерна, ц/га; Р – удельная стоимость продукции, руб./га; Р _р – удельная прибыль без учета амортизации, топлива, заработной платы и других затрат; Р _р = Р – (З _с + З _у), руб/га; недифф. – недифференцированный вариант.										

большого количества стеблей, так и массы зерна в колосе. Различия биологической урожайности между зонами в среднем составляли 6 ц/га, между максимальными и минимальными нормами высева семян они были равны 0,6 ц/га, а между максимальной и минимальной дозами внесения удобрений – 1,9 ц/га.

В 2023 г. наибольшая средняя биологическая урожайность была получена в зоне среднего плодородия, достигнув уровня 29,7 ц/га, а в зонах высокого и низкого плодородия была достоверно ниже: 25,8 и 23,1 ц/га соответственно. Различия в урожайности при разных зонах плодородия

в среднем составили 6,7 ц/га, при разных нормах высева семян и разных дозах внесения удобрений – по 2,7 ц/га. Таким образом, значимость влияния норм высева семян и доз внесения удобрений была равнозначной, а разница в средней урожайности между зонами плодородия была больше в 2,5 раза, чем при вариациях нормы посева семян и доз внесения удобрений.

Заключение. Для двух лет применения точного земледелия на опытных полях ООО «Чарышское» Усть-Калманского района Алтайского края были подобраны наиболее оптимальные сочетания нормы высева семян и доз внесения удобрений.

Таблица 5 – Удельная прибыль при применении лучших вариантов точного земледелия в сравнении с традиционным земледелием на опытных полях ООО «Чарышское» в 2022 и 2023 г.

Table 5 – Specific profit when using the best options of precision farming in comparison with traditional farming on experimental fields of LLC "Charyshskoye" in 2022 and 2023

Вид	Зона	Н _с , кг/га	Н _у , кг/га	У _б , ц/га	Р _з , руб./га	Зона		Поле		
						S _з , га	P _з , руб.	P _п , руб.	ΔP _п , руб.	ΔP _з /S _п , руб./га
2022 год										
Точное	НП	171	120	34,9	35 249	139,31	4 910 538	15 264 573	2 348 191	5 700
	СП	152	120	36,4	37 183	128,65	4 783 593			
	ВП	171	120	41,5	38 689	143,98	5 570 442			
Традиц.	НП	152	100	31,7	29 057	139,31	4 047 931	12 916 382		
	СП	152	100	28,7	28 777	128,65	3 702 161			
	ВП	152	100	38,2	35 882	143,98	5 166 290			
2023 год										
Точное	НП	120	63	25,8	29 495	72,61	2 141 632	7 609 236	965 302	4 438
	СП	80	90	34,4	41 164	69,94	2 879 010			
	ВП	80	117	30,7	34 533	74,96	2 588 594			
Традиц.	НП	120	90	24,1	25 664	72,61	1 863 463	6 643 934		
	СП	120	90	32,8	37 844	69,94	2 646 809			
	ВП	120	90	26,1	28 464	74,96	2 133 661			
Примечания: S _з – площадь зоны поля, га; S _п – площадь поля, га; P _з – прибыль от зоны поля без учета одинаковых затрат, руб.; P _п – прибыль от поля без учета одинаковых затрат, руб.; ΔP _п – разница в чистой прибыли от поля, руб.; ΔP _з /S _п – разница в удельной чистой прибыли, руб./га Остальные обозначения соответствуют примечаниям таблицы 4.										

Для 2022 г. с гидротермическим коэффициентом вегетационного периода, равным 0,84, наилучший вариант точного земледелия принес удельную прибыль на 5 700 руб./га больше, чем вариант с традиционным земледелием.

Для 2023 г., когда в летние месяцы гидротермический коэффициент доходил до значений в 0,36 и в условиях повышения цен на семена почти в 2 раза, разница в удельной прибыли наилучшего вариан-

та точного земледелия с традиционным все равно была существенной и близкой к предыдущему году – 4 438 руб./га.

Зоны плодородия влияли на урожайность в большей степени, чем изменение норм посева семян и доз внесения удобрений. В 2022–2023 гг. различия биологической урожайности между зонами в среднем составляли 6–7 ц/га, что больше в 2,5–3 раза, чем при вариациях нормы посева семян и доз внесения удобрений.

Список источников

1. 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)*. Zug : Springer Cham, 2024. P. 1131–1140. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37978-9_109. EDN JLXVUV.
2. Алексанов Д. С., Порфирьев Е. И. Оценка эффективности применения систем точного земледелия // *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*. 2015. № 11. С. 35–39. EDN UYFUVT.
3. Григорьев Н. С. Повышение рентабельности растениеводства на основе применения технологий точного земледелия // *Островские чтения*. 2017. № 1. С. 330–332. EDN ZPEDJD.
4. Милюткин В. А., Канаев М. А., Баймишев Р. Х., Кузнецов К. А. Эффективность дифференцированного внесения минеральных удобрений при посеве на участках с разной глубиной заделки гумуса // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2021. № 3 (89). С. 109–111. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-89-3-108-112>. EDN PEXFDI.
5. Беляев В. И., Садов В. В., Смышляев А. А., Буксман В. Э., Тур А. А. Влияние дифференцированного посева на водный режим почвы и урожайность яровой пшеницы // *Дальневосточный аграрный вестник* 2023. Т. 17. № 2. С. 5–12. EDN YJOCVS.
6. Перекопский А. Н., Захаров А. М. Варианты внесения органических удобрений в биологизированном севообороте // *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2020. № 18. С. 61–63. <https://doi.org/10.26160/2474-5901-2020-18-61-63>. EDN YEIISU.
7. Ayalew T., Abebe B., Yoseph T. Response of wheat (*Triticum aestivum* L.) to variable seed rates: The case of Hawassa area, Southern Ethiopia // *African Journal of Agricultural Research*. 2017. Vol. 12 (14). P. 1177–1181. <https://doi.org/10.5897/AJAR2017.12196>.
8. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М. : Альянс, 2011. 352 с. EDN QLCQEP.
9. Ионова Е. В., Лиховидова В. А., Лобунская И. А. Засуха и гидротермический коэффициент увлажнения как один из критериев оценки степени ее интенсивности (обзор литературы) // *Зерновое хозяйство России*. 2019. № 6 (66). С. 18–22. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22>. EDN JLXVGY.
10. Миненко А. В., Селиверстов М. В. К вопросу об эффективности производства и реализации растениеводческой продукции в Алтайском крае // *Гуманитарный научный журнал*. 2023. № 4–1. С. 70–75. EDN SDDZHP.

References

1. 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)*. (PP. 1131–1140), Zug, Springer Cham, 2024. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37978-9_109. EDN JLXVUV.
2. Aleksanov D. S., Porfiriev E. I. Assessing the efficiency of employing exact agriculture systems. *Ekonomika sel'skokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy*, 2015;11:35–39. EDN UYFUVT (in Russ.).
3. Grigoriev N. S. Increasing profitability of crop production on the basis of application of precision farming technologies. *Ostrovskie chteniya*, 2017;1:330–332. EDN ZPEDJD (in Russ.).
4. Milyutkin V. A., Kanaev M. A., Baymishev R. Kh., Kuznetsov K. A. The effectiveness of the differentiated application of mineral fertilizers when sowing in areas with different depths of humus. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021;3(89):109–111. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-89-3-108-112>. (in Russ.). EDN PEXFDI.
5. Belyaev V. I., Sadov V. V., Smyshlyaev A. A., Buksman V. E., Tur A. A. The effect of differentiated sowing on the water regime of the soil and the yield of spring wheat. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik*, 2023;17;2:5–12. EDN YJOCVS (in Russ.).
6. Perekopskiy A. N., Zakharov A. M. Options for the application of organic fertilizers in a biologized crop rotation. *Journal of Advanced Research in Technical Science*, 2020;18:61–63. <https://doi.org/10.26160/2474-5901-2020-18-61-63>. EDN YEIISU (in Russ.).

7. Ayalew T., Abebe B., Yoseph T. Response of wheat (*Triticum aestivum* L.) to variable seed rates: The case of Hawassa area, Southern Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*, 2017;12(14):1177–1181. <https://doi.org/10.5897/AJAR2017.12196>.

8. Dospikhov B. A. *Methodology of field experiment (with basics of statistical processing of research results)*, Moscow, Al'yans, 2011, 352 p. EDN QLCQEP (in Russ.).

9. Ionova E. V., Likhovidova V. A., Lobunskaya I. A. Drought and hydrothermal humidity factor as one of the criteria to estimate its intensity degree (obzor literatury). *Zernovoe khozyaystvo Rossii*, 2019;6(66):18–22. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22>. EDN JLXVGY (in Russ.).

10. Minenko A. V., Seliverstov M. V. On the issue of the efficiency of production and sale of plant and water products in the Altai krai. *Gumanitarnyy nauchnyy zhurnal*, 2023;4–1:70–75. EDN SDDZHP (in Russ.).

© Беляев В. И., Садов В. В., Смышляев А. А., Кошелева Е. Д., 2024

Статья поступила в редакцию 19.04.2024; одобрена после рецензирования 01.06.2024; принята к публикации 05.06.2024.

The article was submitted 19.04.2024; approved after reviewing 01.06.2024; accepted for publication 05.06.2024.

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@ya.ru;

Садов Виктор Викторович, доктор технических наук, доцент, Алтайский государственный аграрный университет, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0335-9436>, Author ID: 427073, sadov.80@mail.ru;

Смышляев Андрей Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, Алтайский государственный аграрный университет, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8044-0692>, Author ID: 439077, an_smish_asau@mail.ru;

Кошелева Евгения Дмитриевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Алтайский государственный аграрный университет, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8813-0675>, Author ID: 501590, jten@yandex.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@ya.ru;

Viktor V. Sadov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Altai State Agrarian University, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0335-9436>, Author ID: 427073, sadov.80@mail.ru;

Andrey A. Smyshlyaev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Altai State Agrarian University, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8044-0692>, Author ID: 439077, an_smish_asau@mail.ru;

Evgeniya D. Kosheleva, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Altai State Agrarian University, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8813-0675>, Author ID: 501590, jten@yandex.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.