

На правах рукописи

Сулейманов Рузаль Разяпович

**УРОЖАЙНОСТЬ СОРТОВ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ
ПРЕДКАМСКОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН В
ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ
УДОБРЕНИЙ И ПОЛИМЕРНОГО ВЛАГОСОРБЕНТА (ГИДРОГЕЛЯ)**

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Казань - 2025

Диссертационная работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Казанский государственный аграрный университет» в 2022-2024 гг.

Научный руководитель - **Амиров Марат Фуатович,**
доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой «Растениеводство и плодовоовощеводство» ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»

Официальные оппоненты: **Горянин Олег Иванович**
доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела «Земледелие и новые технологии» Самарского научно-исследовательского института сельского хозяйства имени Н.М. Тулайкова – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук
Аюпов Денис Энисович
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Земледелие, растениеводство и селекция» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань

Защита диссертации состоится «24» декабря 2025 года в 9⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 35.2.017.01 при ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет» по адресу: 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 65, зал заседаний, тел. 8 (843) 598-40-50, e-mail: info@kazgau.com.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», адрес: 420011, г. Казань, ул. Р. Гарева, д. 62 и на сайте университета www.kazgau.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2025 г.

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании диссертационного совета. Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные гербовой печатью учреждения, просим направлять по адресу: 420064, г. Казань, ул. Ферма-2, д. 53 Институт агробиотехнологий и землепользования Казанского ГАУ, ученому секретарю диссертационного совета Амирову М.Ф., e-mail: dissovet_kazgau@mail.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Амиров Марат Фуатович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. В Российской Федерации посевные площади ярового ячменя достигают 7,3 млн. га (из 8 млн. га общего объема посевов ячменя). Россия традиционно занимает третье место в мире по экспорту ячменя, несмотря на доминирование пшеницы в структуре зернового экспорта. Спрос на российский ячмень продолжает расти, особенно со стороны ключевых импортёров – Саудовской Аравии и Китая.

Яровой ячмень является важнейшей зернофуражной культурой в Республике Татарстан и занимает второе место после яровой пшеницы по площади посева. По данным ЕМИСС (Единая межведомственная информационно-статистическая система), в структуре посевных площадей региона под эту культуру в среднем ежегодно отводилось около 400 тыс. га. Средняя урожайность за период 2022-2024 гг. составила 3,07 т/га, при этом её значение значительно варьировало по годам: 3,71 т/га в 2022 г., 2,50 т/га в 2023 г. и 3,00 т/га в 2024 г.

Одной из приоритетных задач сельского хозяйства страны является повышение урожайности ярового ячменя при рациональном использовании минеральных удобрений и запасов продуктивной влаги. Качество и количество зерна во многом зависят от комплекса взаимосвязанных факторов. В связи с этим особую актуальность приобретает оптимизация минерального питания растений, включая уточнение доз и методов внесения удобрений.

С другой стороны, глобальное изменение климата, сопровождающееся потеплением и дефицитом влаги, а также истощением почвенных ресурсов, обуславливает необходимость применения агрохимикатов (влагосорбентов) способных аккумулировать воду и повышать усвояемость минеральных веществ, становится ключевым направлением в современных агротехнологиях.

Степень разработанности темы. Степень разработанности темы является высокой, но фрагментарной. Отдельные аспекты технологии возделывания ярового ячменя в Республике Татарстан изучены достаточно глубоко.

Так, сорта ярового ячменя (Раушан, Камашевский, Тевкеч) и их хозяйственно-ценные признаки детально охарактеризованы в работах ученых ТатНИИСХ Блохина В.И., Ганиевой И.С., Никифоровой И.Ю. и др. (2024).

Эффективность применения минеральных удобрений на яровом ячмене исследована Леваковой О.В. (2020-2023), Поповым Ф.А. и соавт. (2021), Зариповым Н.В. (2008) и другими, которые установили влияние доз и сочетаний NPK на урожайность и качество зерна.

Вопросы использования влагосорбентов (гидрогелей) в растениеводстве освещены в трудах Шилова А.Н., Плотникова А.М. (2010-2012), Тибирькова А.П. (2011-2012), Даниловой Т.Н., Табынбаевой Л.К. (2022), подтвердивших их роль в улучшении водного режима почвы и продуктивности культур.

Вместе с тем, комплексное влияние совместного применения минеральных удобрений и полимерного влагосорбента на урожайность и качество зерна ярового ячменя в условиях серых лесных почв Предкамской зоны Республики Татарстан ранее не изучалось, что определило цель и задачи настоящего исследования.

Цель исследований – разработка научных основ и практических приемов оптимизации минерального питания и водного режима почвы при возделывании сортов ярового ячменя в Предкамской зоне Республики Татарстан.

Задачи исследований:

1. Исследовать влияние различных доз влагосорбента и минеральных удобрений на рост, развитие и формирование элементов продуктивности сортов ярового ячменя.
2. Определить листовой фотосинтетический потенциал, чистую продуктивность фотосинтеза и коэффициент полезного действия фотосинтетически активной радиации (КПД ФАР) в зависимости от применения минеральных удобрений и полимерного влагосорбента.
3. Определить влияние влагосорбента на динамику влажности почвы и коэффициент водопотребления.
4. Оценить воздействие влагосорбента и минеральных удобрений на урожайность и содержание белка в зерне различных сортах ярового ячменя.
5. Дать оценку эффективности комплексного применения минеральных удобрений и гидрогеля при возделывании ярового ячменя.

Научная новизна. Впервые на серых лесных почвах Предкамской зоны Республики Татарстан изучено влияние влагосорбента и минеральных удобрений на формирование урожайности и качества зерна ярового ячменя. Установлено:

- синергетическое действие влагосорбента и удобрений на продуктивную кустистость, сохранность всходов к уборке, структуру урожая и урожайность ярового ячменя;
- увеличение запасов продуктивной влаги в пахотном горизонте под влиянием влагосорбента;
- повышение коэффициента использования почвенной влаги и КПД ФАР при комбинированном применении гидрогеля и удобрений;
- выявлены сорта отзывчивые на применение влагоудерживающих сорбентов;
- научно обоснованы оптимальные дозы минеральных удобрений и гидрогеля для серых лесных почв региона.

Практическая и теоретическая значимость. Теоретическая значимость работы состоит в расширении знаний по формированию высоких урожаев ярового ячменя за счет улучшения водного и питательного режима серых лесных почв, фотосинтетической деятельности растений, оптимизации структуры растений и качества урожая, в связи с выявленным синергетическим эффектом комплексного применения научно-обоснованных доз минеральных удобрений и влагосорбента.

Внедрение разработанной автором технологии в сельскохозяйственное производство Республики Татарстан позволит:

- достичь урожайности ярового ячменя до 4,5 т/га (при среднереспубликанском показателе 3,07 т/га);
- повысить содержание белка в зерне ячменя на 1,7 % и более.

Практическая эффективность подтверждена результатами производственных испытаний в ООО «ВЗП Заволжья» Зеленодольского муниципального района Республики Татарстан. Совместное применение влагосорбента и минеральных удобрений обеспечило прибавку урожая на 0,82 т/га (35,2 %) по сравнению с контролем.

Методология и методы исследования. Методология исследований основана на изучении научной литературы отечественных и зарубежных авторов. Методы исследований: теоретическое – обработка результатов исследований методами статистического анализа, эмпирические – полевые опыты, графическая и табличная отображение полученных результатов.

Основные положения, выносимые на защиту:

- эффективность комбинированного применения влагосорбента и минеральных удобрений на формирование всходов, продолжительность вегетации, фотосинтетическую деятельность, сохранность растений ярового ячменя и его урожайность и качество урожая;

- закономерности накопления и использования продуктивной влаги, показателей фотосинтетической активности (листовой фотосинтетический потенциал, чистая продуктивность фотосинтеза, КПД ФАР).

Степень достоверности и апробация работы. Степень достоверности полученных результатов подтверждается трехлетними полевыми и лабораторными исследованиями, проведенными по современным методикам и действующим ГОСТам, обработкой цифровых данных общепринятыми методами математической статистики. Основные результаты исследовательской работы доложены на II Международной научно-практической конференции «Воспроизводство плодородия почв и продовольственная безопасность в современных условиях» (Казань, 2023); Всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Роль аграрной науки в решении проблем современного земледелия» (Казань, 2024); II Международной научно-практической конференции «Биологические препараты и приемы биологизации в современном земледелии» (Казань, 2024); II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Актуальные вопросы рационального использования земельных ресурсов, геодезии и природопользования» (Казань, 2024); III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Актуальные вопросы рационального использования земельных ресурсов, геодезии и природопользования» (Казань, 2025).

Организация исследований и личный вклад соискателя. Автором совместно с научным руководителем разработана программа исследований, самостоятельно проведены полевые опыты, фенологические наблюдения, лабораторные анализы, статистическая обработка данных и интерпретация результатов. Результаты в логической последовательности соискателем изложены в настоящей диссертации. Личный вклад автора составляет 85 % от общего объема работы.

Публикации по теме диссертации. По теме диссертации опубликовано 6 работ, включая 2 статьи в журналах из перечня ВАК РФ, а также 1 патент на

изобретение.

Структура и объём диссертации. Работа изложена на 266 страницах печатного текста и включает введение, 6 глав, выводы, рекомендации, 28 таблиц, 20 рисунков, 100 приложений. Список литературы содержит 152 источника.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность научному руководителю – д.с.-х.н., профессору Амирову Марату Фуатовичу, а также сотрудникам кафедры «Растениеводство и плодовоовощеводство» и лаборантам центра агроэкологической лаборатории Казанского ГАУ за помощь в проведении исследований и подготовке диссертации.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В первой главе диссертации проведен аналитический обзор литературных источников, рассматривающий современное состояние и перспективы производства ярового ячменя в РФ и РТ, характеристику районированных сортов и эффективности применения минеральных удобрений, а также теоретические и практические аспекты использования влагосорбентов в растениеводстве.

2 ПРОГРАММА, УСЛОВИЯ, МЕСТО И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые исследования проводились в 2022–2024 гг. на опытном поле ООО «Агробιοтехнопарк» при ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ», расположенном вблизи с. Нармока Лаишевского муниципального района Республики Татарстан, относящемся к Предкамской агропроизводственной зоне.

Полевые опыты проводились на серых лесных почвах с содержанием гумуса 3,6 %, подвижного фосфора 256-270 мг/кг, обменного калия 121-125 мг/кг (по Кирсанову в модификации ЦИНАО), кислотностью почвы – 6,2 pH (солевой вытяжке).

Анализ агрометеорологических условий за вегетационные периоды 2022–2024 гг. выявил существенные отклонения от среднемноголетних показателей. В 2022 году отмечена значительная контрастность условий: чрезвычайно высокая влажность в мае (ГТК = 3,7; 206,3 % осадков) сменилась резким дефицитом осадков в июне (33,9 % от нормы) и их полным отсутствием в августе. 2023 год характеризовался как наиболее засушливый, особенно в июне (ГТК = 0,12; лишь 10,7 % осадков), на фоне устойчиво повышенных температур, что указывает на экстремальность условий для вегетации растений. В 2024 году наблюдалась тенденция к смягчению засушливости по сравнению с предыдущим годом, однако режим оставался недостаточно влажным, с минимальным количеством осадков в июне (27,7 % от нормы) и умеренно тёплым температурным фоном.

Исследования проведены на трех сортах ярового ячменя, включенных в Госреестр РФ для Средневолжского региона: Раушан; Камашевский и Тевкеч.

Опыт заложен по двухфакторной схеме. Фактор А – сорт (3 сорта). Фактор В – система применения минеральных удобрений и гидрогеля «Аквасин» (9 вариантов: 3 уровня удобрений (0, N₅P₅K₃₇, N₃₇P₆₀K₇₃) в сочетании с 3 нормами гидрогеля (0, 50, 100 кг/га)).

Технология возделывания ячменя была общепринятой для зоны и включала лущение стерни, зяблевую вспашку, закрытие влаги, предпосевную культивацию, посев, гербицидную и фунгицидно-инсектицидную обработки. Предшественник – озимая пшеница.

Опыт заложен в четырехкратной повторности, размещение делянок последовательное. Общая площадь делянки – 26 м², учетная площадь для уборки – 20 м².

Учеты и наблюдения проводились по общепринятым в агрономии методикам (Б.А. Доспехов, 1985; В.Ф. Моисейченко, 1996) и включали фенологические наблюдения, оценку густоты стояния растений, элементы структуры урожая, фотосинтетическую деятельность, качество зерна и экономическую эффективность. Статистическая обработка данных проведена методом дисперсионного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3 ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ДОЗ ГИДРОГЕЛЯ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ

3.1 Фенологические наблюдения

Исследование, проведенное в 2022-2024 годах, демонстрирует, что повышение доз минеральных удобрений, особенно в сочетании с гидрогелем, приводит к значительному удлинению вегетационного периода.

При этом ключевым фактором становится взаимодействие удобрений с гидрогелем. Гидрогель, даже без удобрений, демонстрирует способность увеличивать вегетационный период на 2-6 суток, как, например, у Раушана (69 → 71 суток при 50 кг/га). Его роль особенно заметна в комбинации с высокими дозами удобрений: у Тевкеча совместное применение N₃₇P₆₀K₇₃ и 100 кг/га гидрогеля добавляет к вегетации 14 суток, достигая 79 суток.

3.2 Формирование всходов, их сохранность к уборке и количество продуктивных стеблей

Полевая всхожесть, сохранность растений, количество продуктивных стеблей и коэффициент кустистости ярового ячменя – ключевые параметры, определяющие потенциал урожайности этой культуры.

Как видно из таблицы 1, наибольший прирост количества продуктивных стеблей наблюдается у сорта Раушан: применение комбинации N₃₇P₆₀K₇₃ с 50 кг/га гидрогеля увеличивает показатель до 553 шт./м², что на 18,9 % выше контрольного варианта (465 шт./м²).

Сорт Камашевский демонстрирует постепенный рост продуктивности: максимальное значение (481 шт./м²) достигается при комбинации N₃₇P₆₀K₇₃ с 100 кг/га гидрогеля, что на 18,8 % превышает контроль (405 шт./м²).

Таблица 1 – Полевая всхожесть, сохранность растений, количество продуктивных стеблей и коэффициент кущения изучаемых сортов ярового ячменя в зависимости от различных доз удобрений и гидрогеля, 2022-2024 гг.

Сорт (фактор А)	Минеральные удобрения и гидрогель (фактор В)	Количество продуктивных стеблей, шт/м ²				Коэффициент кущения	Полевая всхожесть, %	Сохранность растений, %
		2022 г.	2023 г.	2024 г.	Среднее			
Раушан	Без удобрений и гидрогеля (контроль)	535	420	440	465	1,61	80,2	80,1
	N ₅ P ₅ K ₃₇	589	454	463	502	1,56	82,9	86,3
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃	626	379	496	500	1,49	84,2	88,4
	Без удоб. + 50 кг/га гидрогель	529	422	448	466	1,54	79,3	84,9
	N ₅ P ₅ K ₃₇ + 50 кг/га гидрогель	613	462	474	516	1,57	84,0	87,0
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃ + 50 кг/га гидрогель	653	488	519	553	1,61	85,8	89,1
	Без удоб. + 100 кг/га гидрогель	538	432	454	475	1,55	79,8	85,5
	N ₅ P ₅ K ₃₇ + 100 кг/га гидрогель	635	465	494	531	1,58	85,3	87,5
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃ + 100 кг/га гидрогель	654	447	502	534	1,55	85,3	89,8
Камашевский	Без удобрений и гидрогеля (контроль)	449	375	391	405	1,56	69,3	83,3
	N ₅ P ₅ K ₃₇	486	406	423	438	1,59	72,0	85,2
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃	496	444	463	468	1,63	73,3	87,0
	Без удоб. + 50 кг/га гидрогель	466	382	403	417	1,57	70,4	83,6
	N ₅ P ₅ K ₃₇ + 50 кг/га гидрогель	490	412	435	446	1,60	72,2	85,8
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃ + 50 кг/га гидрогель	514	451	467	477	1,65	72,4	88,7
	Без удоб. + 100 кг/га гидрогель	467	384	410	420	1,57	70,4	84,2
	N ₅ P ₅ K ₃₇ + 100 кг/га гидрогель	498	414	443	452	1,59	73,6	85,8
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃ + 100 кг/га гидрогель	508	455	479	481	1,66	73,3	87,6
Тевкеч	Без удобрений и гидрогеля (контроль)	306	303	302	304	1,11	80,0	85,9
	N ₅ P ₅ K ₃₇	317	301	309	309	1,10	80,8	87,0
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃	326	304	314	315	1,11	81,3	87,4
	Без удоб. + 50 кг/га гидрогель	312	307	305	308	1,11	80,0	86,9
	N ₅ P ₅ K ₃₇ + 50 кг/га гидрогель	319	303	314	312	1,10	81,3	87,1
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃ + 50 кг/га гидрогель	344	306	326	325	1,12	82,0	88,1
	Без удоб. + 100 кг/га гидрогель	313	305	307	308	1,10	80,8	86,7
	N ₅ P ₅ K ₃₇ + 100 кг/га гидрогель	316	298	310	308	1,08	81,3	87,7
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃ + 100 кг/га гидрогель	342	304	327	324	1,11	82,5	88,2
НСР ₀₅	А	5,28	4,39	4,46				
	В	4,87	4,03	4,30				
	АВ	34,7	39,2	20,9				

Сорт Тевкеч выделяется крайне низкой отзывчивостью на

совершенствование агротехники. Даже при максимальной дозе удобрений и гидрогеля ($N_{37}P_{60}K_{73} + 100$ кг/га) количество стеблей увеличивается лишь на 6,9 % (с 304 до 324 шт./м²).

В 2023 году, с экстремально низкими осадками (всего 106,38 мм за май-август), сорт Камашевский проявил большую устойчивость: его коэффициент кустистости оставался стабильным (1,42-1,52), а применение гидрогеля +100 кг/га с $N_{37}P_{60}K_{73}$ повысило количество стеблей до 479 шт./м² в 2024 г., что связано с улучшением влагоудержания.

У сорта Раушан максимальная сохранность растений (89,8 %) достигнута при внесении минеральных удобрений с дозой $N_{37}P_{60}K_{73} + 100$ кг/га гидрогеля, что на 9,7 % выше контроля, и указывает на синергию макроэлементов и гидрогеля, улучшающего влагоудержание.

Для ярового ячменя сорта Камашевский максимальная сохранность растений (88,7 %) зафиксирована при $N_{37}P_{60}K_{73} + 50$ кг/га гидрогеля, но увеличение дозы гидрогеля до 100 кг/га не усилило эффект (сохранность растений 87,6 %), что свидетельствует о насыщении влагоудерживающего потенциала.

Тевкеч, обладая изначально высокой устойчивостью (85,9 % сохранности без удобрений), стабильно до 88,2 % превышает по количеству растений контроль на варианте $N_{37}P_{60}K_{73} + 100$ кг/га гидрогеля.

3.3 Высота растений

Контрольные варианты без удобрений и гидрогеля показали высоту растений в диапазоне 55-59 см, при этом сорт Тевкеч изначально демонстрирует более высокие значения (59 см), что может указывать на его генетический потенциал.

Наиболее выраженная положительная динамика по вариантам опыта отмечена у сорта Тевкеч. Комбинация $N_{37}P_{60}K_{73}$ с гидрогелем (50 кг/га) увеличила высоту растений до 61 см, а при 100 кг/га гидрогеля – до 62 см, что на 3 см превышает контроль.

Это указывает на синергизм удобрений и гидрогеля для данного сорта, вероятно, связанный с улучшением влагоудержания и доступности питательных веществ. В отличие от Тевкеча, Камашевский показал минимальную реакцию: даже при максимальных дозах удобрений и гидрогеля высота не превысила 58 см, что близко к контрольным значениям (55-56 см).

3.4 Влияние изучаемых приемов на развитие ассимиляционного аппарата и его продуктивность на посевах различных сортов ярового ячменя

Сорт Камашевский по площади листьев демонстрировал стабильность на стадии цветения даже в засушливый 2023 год по сравнению с благоприятным 2022 годом. Так, при использовании $N_{37}P_{60}K_{73} + 50$ кг/га гидрогеля показатель снизился лишь на 1,6 тыс. м²/га (с 43 до 41,4), тогда как у Раушана аналогичный вариант показал падение на 3,9 тыс. м²/га (с 44,3 до 40,4). Эта устойчивость, вероятно, связана с физиологическими особенностями – более глубокой корневой

системой или эффективным распределением ресурсов. Интересно, что в благоприятном 2024 году Тевкеч, напротив, превзошел другие сорта на 5-7 % по показателям на поздних стадиях, что указывает на его потенциал в условиях умеренного стресса.

3.5 Листовой фотосинтетический потенциал

По данным литературных источников на 1000 единиц показателя ЛФП должна соответствовать 2,0-2,5 кг зерна с гектара (Каюмов М.К., 1993). Аналогичные показатели получены и на наших опытах, где на 1000 единиц ЛФП по всем сортам и дозам питания получена 2,0-2,4 кг зерна с гектара (рисунок 1).

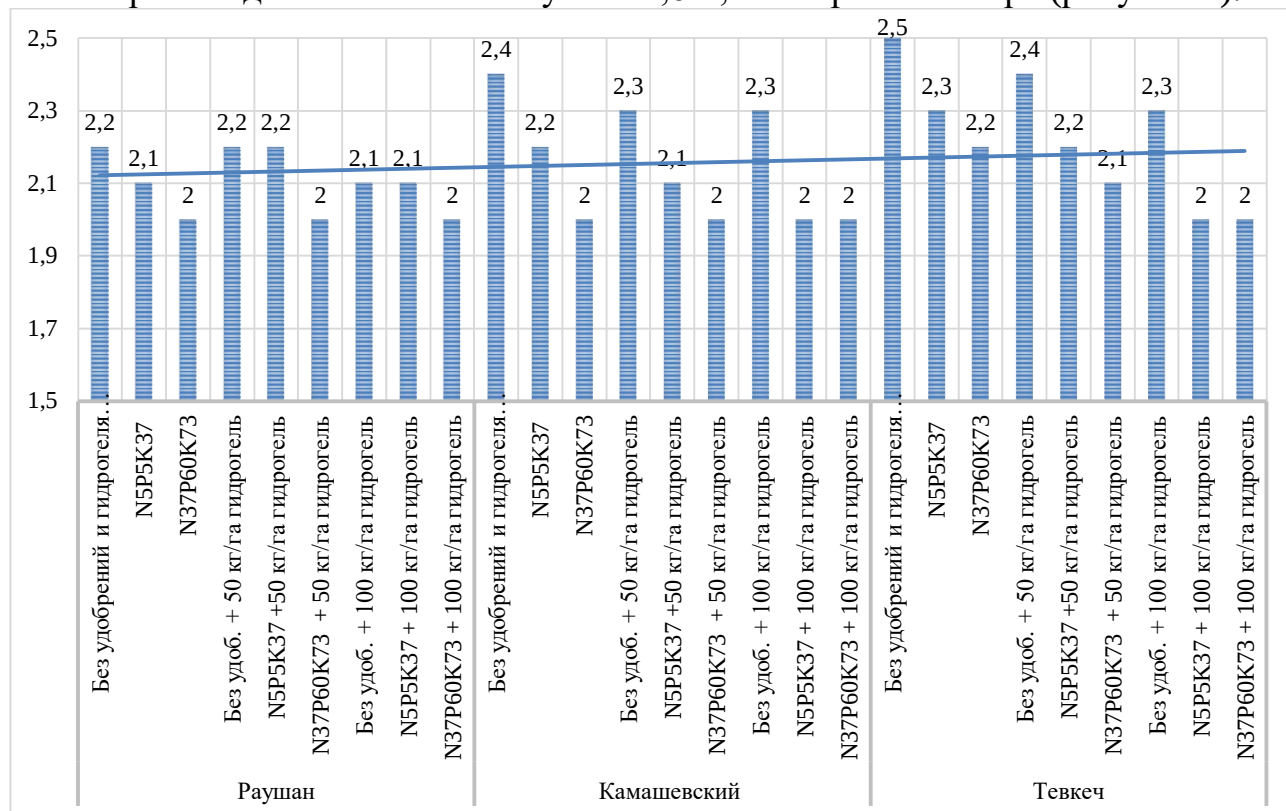


Рисунок 1. Продуктивность 1000 ед. ЛФП, кг зерна (2022-2024 гг.)

Наибольшая базовая продуктивность (без удобрений и гидрогеля) наблюдается у сорта Тевкеч (2,5 кг), тогда как Раушан и Камашевский демонстрируют более низкие показатели (2,2 и 2,4 кг соответственно).

Однако применение удобрений не всегда приводит увеличению выхода зерна на 1000 ед. ЛФП. Например, у Раушана внесение N₅P₅K₃₇ снижает этот показатель с 2,2 до 2,1 кг, а увеличение дозы до N₃₇P₆₀K₇₃ ещё сильнее уменьшает показатель до 2,0 кг. Подобная тенденция прослеживается и у других сортов, что может свидетельствовать о негативном влиянии избытка минеральных веществ на соотношение показателей 1000 ед. ЛФП и выход зерна, несмотря на рост ЛФП.

Интересно, что максимальные значения ЛФП (до 2328,1 тыс. м²*сутки/га у Тевкеча с N₃₇P₆₀K₇₃ и 100 кг/га гидрогеля) не коррелируют с высокой продуктивностью, которая в этих условиях падает до 2,0 кг. Это подчёркивает, что увеличение фотосинтетической активности не всегда трансформируется в прирост

зерна, вероятно, из-за перераспределения ресурсов в пользу вегетативной массы.

3.6 Накопление сухой надземной биомассы по фазам развития ярового ячменя в зависимости от различных доз минеральных удобрений и гидрогеля

Сорта Раушан, Камашевский и Тевкеч показали различную реакцию на агротехнические приемы. Например, у сорта Раушан максимальная биомасса в фазе восковой спелости (8,82 т/га) достигнута при сочетании высоких доз удобрений ($N_{37}P_{60}K_{73}$) с гидрогелем 100 кг/га. Это на 40 % выше, чем в контрольном варианте без удобрений и гидрогеля (6,29 т/га). Аналогичная тенденция наблюдается у Камашевского: применение $N_{37}P_{60}K_{73}$ + 100 кг/га гидрогеля обеспечило биомассу 8,40 т/га на последней фазе, что на 32 % выше контрольного значения (6,42 т/га). Однако сорт Тевкеч проявил меньшую стабильность: при тех же условиях биомасса составила 8,16 т/га, но в других комбинациях (например, $N_5P_5K_{37}$ + 100 кг/га гидрогеля) наблюдалось снижение до 7,27 т/га, что может указывать на специфическую чувствительность сорта к составу удобрений.

Добавление гидрогеля усиливает эффект удобрений, особенно при высоких дозах. Например, у Раушана применение $N_{37}P_{60}K_{73}$ с 50 кг/га гидрогеля дало биомассу 8,51 т/га, а увеличение дозы гидрогеля до 100 кг/га повысило результат до 8,82 т/га. Аналогично, у сорта Камашевский, комбинация $N_{37}P_{60}K_{73}$ + 100 кг/га гидрогеля обеспечила рост биомассы.

3.7 Чистая продуктивность фотосинтеза посевов ярового ячменя

У всех сортов наблюдается общая тенденция: увеличение доз минеральных удобрений приводит к росту чистой продуктивности фотосинтеза в фазах кущения, выхода в трубку и цветения.

Например, у сорта Раушан при переходе от отсутствия удобрений к $N_{37}P_{60}K_{73}$ значения увеличиваются с 2,78 до 2,92 г/м² (кущение) и с 5,94 до 6,19 г/м² (выход в трубку).

Межсортовая вариабельность выражена ярко. Тевкеч, например, демонстрирует наибольшую чувствительность к гидрогелю: при 100 кг/га и $N_{37}P_{60}K_{73}$ чистая продуктивность фотосинтеза в молочной спелости падает до 0,79 г/м², что вдвое ниже, чем у Раушана (1,44) в аналогичных условиях. Камашевский сорт, напротив, сохраняет относительно стабильные показатели в фазах цветения даже при высоких дозах удобрений, но резко теряет продуктивность к концу вегетации.

3.8 Коэффициент полезного действия фотосинтетически активной радиации (КПД ФАР) посевов ярового ячменя

Наибольшие значения КПД ФАР наблюдаются при сочетании высоких доз удобрений ($N_{37}P_{60}K_{73}$) с гидрогелем. Например, у сорта Раушан при использовании $N_{37}P_{60}K_{73}$ + 100 кг/га гидрогеля приход ФАР достигает 1,91 млрд. ккал/га, а КПД – 1,85 %, что на 23,3 % выше базового варианта без удобрений и гидрогеля.

Аналогичная тенденция характерна для сорта Камашевский. Однако сорт Тевкеч демонстрирует менее выраженную зависимость: даже при высоких дозах

удобрений и гидрогеля его КПД не превышает 1,74 %, а в некоторых случаях (например, $N_5P_5K_{37} + 100$ кг/га гидрогеля) наблюдается снижение эффективности до 1,58 %. Это указывает на генетические различия в способности сортов усваивать ресурсы и адаптироваться к агротехническим воздействиям.

Добавление гидрогеля усиливает эффект удобрений, особенно при комбинированном применении. У Раушана внесение 50 кг/га гидрогеля к $N_5P_5K_{37}$ повышает КПД с 1,62 % до 1,72 %, а увеличение дозы до 100 кг/га – до 1,75 %. Подобная динамика наблюдается и у Камашевского, где гидрогель способствует постепенному росту КПД (рисунок 2).

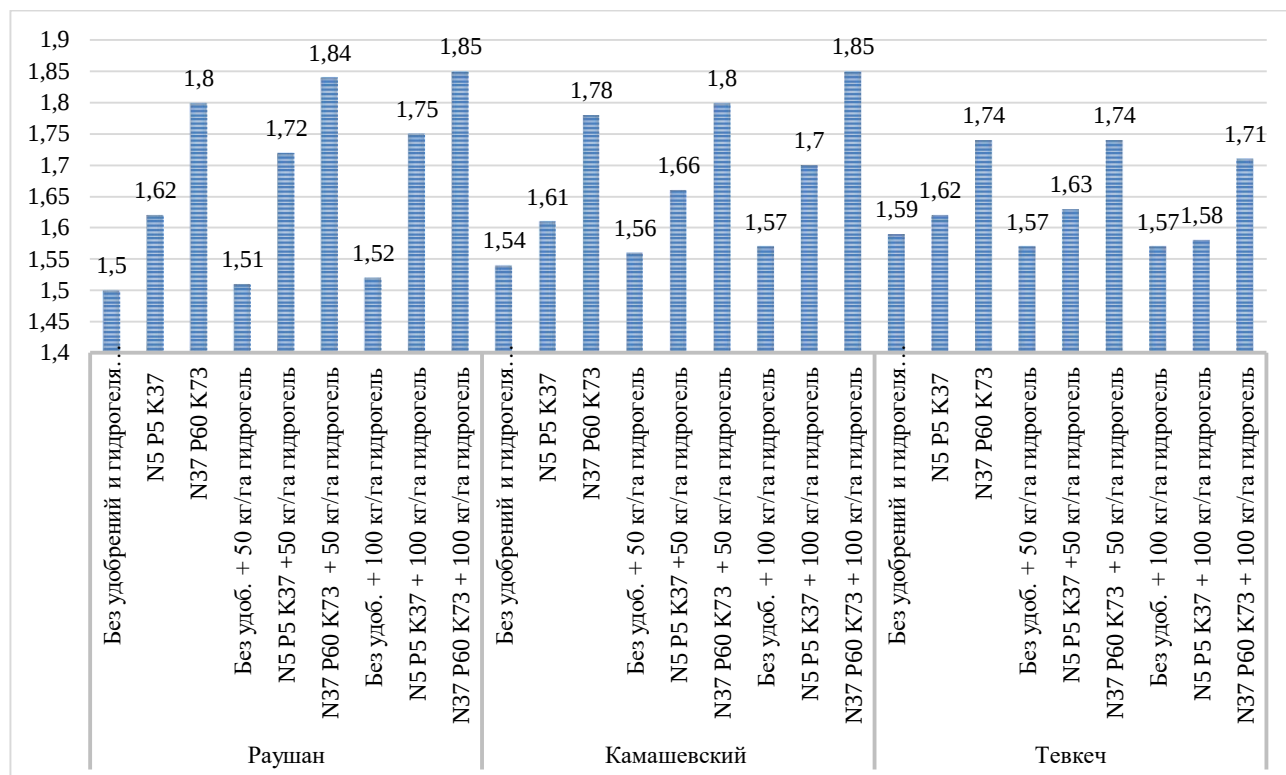


Рисунок 2. КПД ФАР различных сортов ярового ячменя в зависимости от изучаемых агротехнологий, среднее за 2022-2024 гг.

Интересно, что прирост показателей при увеличении дозы гидрогеля с 50 до 100 кг/га не всегда пропорционален. Например, у Камашевского при $N_{37}P_{60}K_{73} + 50$ кг/га гидрогеля КПД составляет 1,80 %, а при +100 кг/га – 1,85 %, демонстрируя убывающую отдачу.

4 ВЛИЯНИЕ ФОНА МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ И ГИДРОСОРБЕНТА НА НАКОПЛЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЧВЕННОЙ ВЛАГИ

На основании трехлетних данных можно утверждать, что наиболее эффективное использование влаги (минимальные значения коэффициента водопотребления) обеспечивает комбинация высоких доз удобрений ($N_{37}P_{60}K_{73}$) с применением гидрогеля в дозе 100 кг/га: 479 м³/т у сорта Раушан, 505 м³/т у сорта Камашевский и 462 м³/т у сорта Тевкеч. Эти значения на 23-24 % ниже, чем в контрольных вариантах (таблица 2).

Таблица 2 – Динамика влажности почвы в слое 0-100 см на посевах различных сортов ярового ячменя в зависимости от фона минерального питания и гидросорбента, 2022-2024 гг.

Сорт (фактор А)	Минеральные удобрения и гидрогель (фактор В)	Запасы продуктивной влаги, мм			Коэффициент водопотребления, м ³ /т	Суммарное водопотребление, м ³ /га
		до посева	выход в трубку	уборка		
Раушан	Без удобрений и гидрогеля (контроль)	173	119	86	624	2040
	N ₅ P ₅ K ₃₇	174	114	80	572	2107
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃	174	110	70	542	2207
	Без удоб. + 50 кг/га гидрогель	174	121	89	599	2020
	N ₅ P ₅ K ₃₇ + 50 кг/га гидрогель	175	118	85	518	2067
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃ + 50 кг/га гидрогель	175	118	75	505	2167
	Без удоб. + 100 кг/га гидрогель	173	123	91	576	1987
	N ₅ P ₅ K ₃₇ + 100 кг/га гидрогель	174	120	87	498	2043
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃ + 100 кг/га гидрогель	175	120	78	479	2140
Камашевский	Без удобрений и гидрогеля (контроль)	174	124	87	617	2030
	N ₅ P ₅ K ₃₇	175	118	82	584	2097
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃	174	115	72	555	2193
	Без удоб. + 50 кг/га гидрогель	175	126	90	590	2017
	N ₅ P ₅ K ₃₇ + 50 кг/га гидрогель	175	123	86	553	2053
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃ + 50 кг/га гидрогель	176	122	76	534	2163
	Без удоб. + 100 кг/га гидрогель	174	128	91	573	1990
	N ₅ P ₅ K ₃₇ + 100 кг/га гидрогель	175	124	88	534	2033
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃ + 100 кг/га гидрогель	175	124	79	505	2127
Тевкеч	Без удобрений и гидрогеля (контроль)	174	129	89	550	2023
	N ₅ P ₅ K ₃₇	176	123	83	526	2090
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃	176	120	75	509	2177
	Без удоб. + 50 кг/га гидрогель	175	131	91	530	2003
	N ₅ P ₅ K ₃₇ + 50 кг/га гидрогель	176	127	87	509	2057
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃ + 50 кг/га гидрогель	176	127	79	483	2150
	Без удоб. + 100 кг/га гидрогель	175	132	94	512	1990
	N ₅ P ₅ K ₃₇ + 100 кг/га гидрогель	176	128	89	493	2037
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃ + 100 кг/га гидрогель	176	129	82	462	2107
2022 г.	HCP ₀₅ А	0,33	0,83	0,19		4,33
	В	0,41	0,39	0,25		5,19
	АВ	0,73	0,54	0,63		7,31
2023 г.	HCP ₀₅ А	0,34	0,40	0,21		3,23
	В	0,37	0,25	0,15		4,20
	АВ	0,70	1,26	1,85		27,11
2024 г.	HCP ₀₅ А	0,31	0,56	0,10		4,10
	В	0,38	0,47	0,15		4,76
	АВ	0,64	0,64	0,71		11,00

По средним данным за три года исследований сорт Тевкеч продемонстрировал наилучшие показатели эффективности использования влаги, особенно в неблагоприятных условиях увлажнения. Коэффициент водопотребления у этого сорта в контрольном варианте составил 550 м³/т, что на 12 % ниже, чем у сорта Раушан (624 м³/т) и на 11 % ниже, чем у сорта Камашевский (617 м³/т).

Трехлетние исследования подтверждают значительное влияние гидрогеля на сохранение запасов продуктивной влаги в почве – в среднем на 15-30 % выше к моменту уборки по сравнению с вариантами без гидрогеля.

Применение гидрогеля особенно эффективно в засушливые годы, когда его влияние на сохранение почвенной влаги и повышение эффективности ее использования проявляется наиболее существенно.

5 ВЛИЯНИЕ ИЗУЧАЕМЫХ АГРОПРИЕМОВ НА СТРУКТУРУ УРОЖАЯ, УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ

5.1 Структура урожая

Сорт Раушан продемонстрировал наиболее выраженную положительную динамику при сочетании высоких доз удобрений (N₃₇P₆₀K₇₃) с гидрогелем. Например, при внесении 100 кг/га гидрогеля вместе с N₃₇P₆₀K₇₃ густота продуктивных стеблей увеличилась с 465 до 534 шт./м² (+15 %), длина колоса выросла на 11 % (с 8,0 до 8,9 см), а масса 1000 зерен достигла 44,4 г (+11 %).

В отличие от Раушана, сорт Камашевский проявил противоречивую реакцию на интенсивные агроприёмы. При использовании N₃₇P₆₀K₇₃ с 100 кг/га гидрогеля количество стеблей увеличилось на 19 % (с 405 до 481 шт./м²), а длина колоса – на 22 % (с 5,5 до 6,7 см), но масса 1000 зерен снизилась с 49,3 г до 46,6 г (-5 %). Это снижение может быть связано с перераспределением ресурсов растения: высокие дозы азота стимулируют вегетативный рост (стебли, листья) в ущерб репродуктивным органам (семена).

Сорт Тевкеч, в свою очередь, показал иную стратегию адаптации. Без удобрений он уступал другим сортам по густоте стеблей (304 шт./м²), но выделялся массой зерна с колоса (1,23 г). При внесении N₃₇P₆₀K₇₃ и 100 кг/га гидрогеля количество стеблей выросло лишь на 7 % (до 324 шт./м²), зато масса зерна достигла 1,42 г (+15 %), а масса 1000 зерен увеличилась до 37,9 г (+4 %). Это позволяет предположить, что Тевкеч оптимизирует ресурсы не через увеличение числа побегов, а через улучшение качества зерна, возможно, за счёт более эффективного фотосинтеза или перераспределения питательных веществ.

5.2 Биологическая урожайность изучаемых сортов ярового ячменя

Увеличение доз NPK ведёт к росту биологической урожайности у всех сортов. Например, у Раушана переход от отсутствия удобрений к N₃₇P₆₀K₇₃ повышает урожайность с 3,30 до 4,10 т/га (+24 %). Максимальная биологическая урожайность среди изучаемых сортов была получена у сорта Тевкеч – 4,61 т/га. Это указывает на его генетическую предрасположенность к интенсивному питанию.

Роль гидрогеля в опытах была двойственна. Без удобрений его применение

даёт не значительный, но стабильный прирост: у сорта Камашевский добавление 100 кг/га гидрогеля увеличивает урожайность с 3,32 до 3,53 т/га (+6 %). Однако в сочетании с удобрениями эффект усиливается. Например, у Раушана комбинация $N_{37}P_{60}K_{73}$ + 100 кг/га гидрогеля обеспечивает урожайность 4,49 т/га против 4,10 т/га без гидрогеля (+9,5 %). Гидрогель, вероятно, улучшает доступность влаги и питательных веществ, что критично в условиях дефицита осадков.

5.3 Влияние изучаемых агроприемов на соотношение зерна к соломе ярового ячменя

Увеличение доз удобрений, как правило, приводит к росту не только зерна, но и соломы, что ухудшает соотношение зерна к соломе. Так, у Раушана при $N_{37}P_{60}K_{73}$ без гидрогеля соотношение составляет 1:1,39, что на 10 % выше контрольного значения (1:1,26). Введение гидрогеля частично нивелирует этот эффект: при 100 кг/га гидрогеля соотношение снижается до 1:1,33, что указывает на его способность оптимизировать распределение биомассы в пользу зерна.

Сорт Тевкеч выделяется наименьшим исходным соотношением соломы к зерну (1:1,04 в контроле), демонстрируя генетическую предрасположенность к высокой доле зерна. Даже при максимальных дозах удобрений и гидрогеля его соотношение не превышает 1:1,11, что значительно ниже, чем у других сортов. Это делает Тевкеч перспективным для хозяйств, ориентированных на производство зерна.

5.4 Урожайность различных сортов ярового ячменя в зависимости от изучаемых доз минеральных удобрений и гидрогеля

Максимальные показатели урожайности во всех случаях достигаются при комбинации высоких доз удобрений ($N_{37}P_{60}K_{73}$) и 100 кг/га гидрогеля, однако реакция сортов на эти факторы существенно различается (таблица 3).

Например, сорт Раушан демонстрирует впечатляющий прирост в 37 % (4,47 т/га), тогда как Тевкеч, несмотря на абсолютный максимум в 4,56 т/га, показывает относительную прибавку лишь 24 %. Камашевский, напротив, при скромном исходном показателе (3,29 т/га) проявляет устойчивую реакцию на удобрения, достигая 4,21 т/га, но его потенциал роста ограничен по сравнению с другими сортами.

Проведенные исследования позволили установить, что между суммарным водопотреблением ($m^3/га$) и урожайностью изучаемых сортов ярового ячменя существует устойчивая положительная связь, варьирующая от умеренной до тесной (коэффициент корреляции $r = 0,63-0,78$).

Сорт Камашевский проявил себя как наиболее стабильный и отзывчивый на изменение водопотребления. Высокие значения коэффициента корреляции (r) и детерминации (R^2) во все три года (0,70-0,78 и 0,49-0,62 соответственно) свидетельствуют о предсказуемой и сильной зависимости его урожайности от влагообеспеченности. Это делает данный сорт надежным объектом для применения технологий, направленных на оптимизацию водного режима (таких как внесение гидрогеля).

Таблица 3 – Урожайность изучаемых сортов ярового ячменя, т/га (среднее 2022-2024 гг.)

Сорт (фактор А)	Минеральные удобрения и гидрогель (фактор В)	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Среднее
Раушан	Без удобрений и гидрогеля (контроль)	4,23	2,73	2,85	3,27
	N ₅ P ₅ K ₃₇	4,72	3,16	3,17	3,68
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃	5,34	3,36	3,52	4,07
	Без удоб. + 50 кг/га гидрогель	4,29	2,89	2,94	3,37
	N ₅ P ₅ K ₃₇ + 50 кг/га гидрогель	5,04	3,42	3,50	3,99
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃ + 50 кг/га гидрогель	5,65	3,59	3,64	4,29
	Без удоб. + 100 кг/га гидрогель	4,32	2,93	3,10	3,45
	N ₅ P ₅ K ₃₇ + 100 кг/га гидрогель	5,22	3,48	3,60	4,10
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃ + 100 кг/га гидрогель	5,77	3,64	4,00	4,47
Камашевский	Без удобрений и гидрогеля (контроль)	3,92	2,90	3,06	3,29
	N ₅ P ₅ K ₃₇	4,19	3,16	3,42	3,59
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃	4,59	3,47	3,78	3,95
	Без удоб. + 50 кг/га гидрогель	4,02	2,97	3,27	3,42
	N ₅ P ₅ K ₃₇ + 50 кг/га гидрогель	4,33	3,23	3,58	3,71
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃ + 50 кг/га гидрогель	4,78	3,55	3,82	4,05
	Без удоб. + 100 кг/га гидрогель	4,07	2,99	3,35	3,47
	N ₅ P ₅ K ₃₇ + 100 кг/га гидрогель	4,39	3,28	3,77	3,81
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃ + 100 кг/га гидрогель	4,83	3,61	4,18	4,21
Тевкеч	Без удобрений и гидрогеля (контроль)	4,41	3,23	3,40	3,68
	N ₅ P ₅ K ₃₇	4,74	3,39	3,78	3,97
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃	5,20	3,68	3,95	4,28
	Без удоб. + 50 кг/га гидрогель	4,52	3,31	3,52	3,78
	N ₅ P ₅ K ₃₇ + 50 кг/га гидрогель	4,82	3,47	3,84	4,04
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃ + 50 кг/га гидрогель	5,37	3,83	4,16	4,45
	Без удоб. + 100 кг/га гидрогель	4,69	3,34	3,65	3,89
	N ₅ P ₅ K ₃₇ + 100 кг/га гидрогель	4,94	3,50	3,95	4,13
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃ + 100 кг/га гидрогель	5,50	3,85	4,34	4,56
НСР ₀₅ А В АВ		0,09	0,06	0,07	
		0,04	0,02	0,03	
		0,39	0,14	0,10	

Сорт Тевкеч показал очень близкие к Камашевскому результаты, также демонстрируя высокую стабильность связи.

Сорт Раушан оказался наиболее чувствительным к изменению погодных условий. Резкое падение силы связи в 2023 году ($R^2=0,35$) указывает на то, что в стрессовых условиях физиологические процессы, определяющие урожайность у этого сорта, в значительной степени выходят из-под контроля водного фактора. Это может быть связано с особенностями работы устьичного аппарата, глубиной корневой системы или эффективностью фотосинтеза при стрессе.

5.5 Качество зерна ярового ячменя

Содержание белка – важный критерий, влияющий на применение ячменя в различных отраслях. Высокий уровень белка (порядка 10-14 %) особенно востребован в животноводстве, где зерно используется для производства кормов, обеспечивая рост мышечной массы и продуктивности животных (таблица 4).

Таблица 4 – Влияние различных доз минеральных удобрений и гидрогеля на содержание (%) и валовой сбор белка (кг/га) в зерне ярового ячменя

Сорт (фактор А)	Минеральные удобрения и гидрогель (фактор В)	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Среднее	Валовой сбор белка, кг/га	Прибавка	
							кг/га	%
Раушан	Без удобрений и гидрогеля (контроль)	11,5	12,0	11,6	11,7	383	-	383
	N ₅ P ₅ K ₃₇	11,6	12,2	11,8	11,9	438	55	438
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃	12,5	13,0	12,8	12,8	521	138	521
	Без удоб. + 50 кг/га гидрогель	11,5	12,1	11,7	11,8	398	15	398
	N ₅ P ₅ K ₃₇ + 50 кг/га гидрогель	11,9	12,5	12,0	12,1	483	100	483
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃ + 50 кг/га гидрогель	12,5	13,5	13,0	13,0	558	175	558
	Без удоб. + 100 кг/га гидрогель	11,6	12,2	11,7	11,8	407	24	407
	N ₅ P ₅ K ₃₇ + 100 кг/га гидрогель	11,9	12,5	12,2	12,2	500	117	500
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃ + 100 кг/га гидрогель	12,9	13,8	13,4	13,4	599	216	599
Камашевский	Без удобрений и гидрогеля (контроль)	11,5	12,3	11,7	11,8	388	-	388
	N ₅ P ₅ K ₃₇	11,7	12,8	12,0	12,2	438	50	438
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃	12,5	13,8	13,3	13,2	521	133	521
	Без удоб. + 50 кг/га гидрогель	11,4	12,2	11,9	11,8	404	16	404
	N ₅ P ₅ K ₃₇ + 50 кг/га гидрогель	11,7	12,6	12,2	12,2	453	65	453
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃ + 50 кг/га гидрогель	12,1	14,3	14,0	13,5	547	159	547
	Без удоб. + 100 кг/га гидрогель	11,5	12,4	11,9	11,9	413	25	413
	N ₅ P ₅ K ₃₇ + 100 кг/га гидрогель	11,9	13,0	12,4	12,4	472	84	472
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃ + 100 кг/га гидрогель	13,4	14,5	14,5	14,1	594	206	594
Тевкеч	Без удобрений и гидрогеля (контроль)	10,3	11,5	11,0	10,9	401	-	401
	N ₅ P ₅ K ₃₇	11,4	11,8	11,5	11,6	461	60	461
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃	12,1	12,8	12,5	12,5	535	134	535
	Без удоб. + 50 кг/га гидрогель	10,3	11,5	11,1	11,0	416	15	416
	N ₅ P ₅ K ₃₇ + 50 кг/га гидрогель	11,5	12,0	11,8	11,8	477	76	477
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃ + 50 кг/га гидрогель	12,1	12,9	12,6	12,5	556	155	556
	Без удоб. + 100 кг/га гидрогель	10,3	11,5	11,1	11,0	428	27	428
	N ₅ P ₅ K ₃₇ + 100 кг/га гидрогель	11,5	12,1	11,9	11,8	487	86	487
	N ₃₇ P ₆₀ K ₇₃ + 100 кг/га гидрогель	12,1	13,0	12,8	12,6	575	174	575
НСР ₀₅ А		0,22	0,24	0,23				
В		0,10	0,10	0,10				
АВ		0,46	0,29	0,39				

Наибольшие значения белка наблюдаются при комбинации высоких доз удобрений ($N_{37}P_{60}K_{73}$) с гидрогелем, особенно у сортов Раушан и Камашевский.

Сопоставление с метеоданными выявляет важность температурного режима. В 2022 году, когда август был аномально тёплым, а май – дождливым (206,3 % осадков), сорта демонстрировали стабильный рост белка даже без гидрогеля. Однако в 2023 году, характеризующемся низкими осадками и повышенными температурами в июле-августе, именно комбинация удобрений с гидрогелем обеспечила устойчивость растений. Например, у Камашевского при $N_{37}P_{60}K_{73} + 100$ кг/га гидрогеля содержание белка в 2023 году достигло 14,5 %, что на 8 % выше, чем в 2022 году, несмотря на более жёсткие условия.

Интересно, что сорт Тевкеч, в целом с более высокой урожайностью, показал наименьший прирост белка даже при высоких дозах минеральных удобрений. В 2024 году, при умеренных осадках (72,5 % от нормы) и повышенной температуре в июне (118,6 % от нормы), его максимальный результат (12,8 % при $N_{37}P_{60}K_{73} + 100$ кг/га гидрогеля) остался ниже, чем у других сортов. Это подчёркивает генетическую предрасположенность сортов к разной реакции на агротехнические вмешательства и климатические стрессы.

Наиболее значительное увеличение валового сбора белка наблюдается при сочетании высоких доз удобрений ($N_{37}P_{60}K_{73}$) с гидрогелем. Например, для сорта Раушан применение $N_{37}P_{60}K_{73} + 100$ кг/га гидрогеля обеспечивает сбор 599 кг/га белка, что на 56 % выше контрольного значения. Аналогичная тенденция прослеживается для других сортов: у Камашевского максимальный показатель составляет 594 кг/га (+53 %), у Тевкеч – 575 кг/га (+43 %). Это указывает на синергетический эффект между удобрениями и гидрогелем, который, вероятно, улучшает усвоение питательных веществ и влагоудержание.

6 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ГИДРОГЕЛЯ НА РАЗЛИЧНЫХ СОРТАХ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ

Проведенный анализ данных экономической эффективности возделывания сортов ячменя (Раушан, Камашевский, Тевкеч) при различных комбинациях минеральных удобрений и гидрогеля выявил сложную взаимосвязь между агротехническими вмешательствами и финансовыми результатами. Максимальная урожайность, достигающая 4,56 т/га у сорта Тевкеч при применении $N_{37}P_{60}K_{73} + 100$ кг/га гидрогеля, демонстрирует потенциал интенсивных технологий. Однако сопутствующий рост общих затрат до 55 575 руб./га приводит к резкому снижению рентабельности (12,2-14,6 %), что ставит под сомнение экономическую целесообразность таких методов.

Затраты на производство 1 тонны продукции варьируются от 5737,2 руб. (контроль для Тевкеча) до 12 276 руб. ($N_{37}P_{60}K_{73} + 100$ кг/га гидрогеля для Камашевского), что указывает на экспоненциальный рост себестоимости при интенсификации. При этом денежная выручка, хотя и увеличивается с ростом урожайности (до 59 280 руб./га для Тевкеча), не компенсирует затраты в высокоинтенсивных вариантах, формируя отрицательную корреляцию между урожайностью и рентабельностью. Например, для Раушана переход от контроля к $N_{37}P_{60}K_{73} +$

100 кг/га гидрогеля повышает выручку на 36,7 %, но затраты возрастают на 146 %, снижая рентабельность с 102,2 % до 12,2 %.

Промежуточные варианты, такие как $N_5P_5K_{37}$ + 50 кг/га гидрогеля, демонстрируют более сбалансированные показатели: урожайность 3,99-4,04 т/га при рентабельности 84,9-101,4 %. Это свидетельствует о наличии «зоны оптимума», где умеренные инвестиции в удобрения и гидрогель обеспечивают приемлемый прирост урожайности без критического роста издержек.

Сравнение сортов выявило специфическую адаптацию: Тевкеч, обладая наибольшей урожайностью во всех вариантах (3,68-4,56 т/га), демонстрирует более высокую устойчивость к росту затрат. Например, при использовании $N_{37}P_{60}K_{73}$ + 100 кг/га гидрогеля его рентабельность (14,6 %) вдвое превышает аналогичный показатель Камашевского (5,9 %), что может быть связано с генетическими особенностями сорта. Раушан, напротив, показывает наименьшую стабильность: при максимальных удобрениях его рентабельность падает до 12,2 %, что на 2,4% ниже, чем у Тевкеча.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Комбинированное применение минеральных удобрений и гидрогеля удлиняет вегетационный период, повышает полевую всхожесть, сохранность растений к уборке, количество продуктивных стеблей всех исследуемых сортов ярового ячменя.

2. Совместное применение высоких доз удобрений ($N_{37}P_{60}K_{73}$) с гидрогелем (100 кг/га) максимально увеличивает листовой фотосинтетический потенциал растений. У сорта Раушан этот показатель достигает 2237,5 тыс. $m^2 \cdot сутки/га$, что на 49 % выше контрольного варианта. Существенно возрастает и накопление сухой надземной биомассы: у Раушана максимальная биомасса в период восковой спелости (8,82 т/га) получена при сочетании $N_{37}P_{60}K_{73}$ с гидрогелем 100 кг/га, что на 40 % выше контроля.

3. Сорта ярового ячменя демонстрируют выраженные различия в реакции на удобрения и гидрогель. Раушан проявляет максимальную отзывчивость по большинству показателей, особенно на комбинацию высоких доз удобрений с гидрогелем. Камашевский характеризуется высокой стабильностью и устойчивостью к стрессовым условиям: в засушливый год снижение площади листьев на стадии цветения составило лишь 1,6 тыс. $m^2/га$, тогда как у Раушан – 3,9 тыс. $m^2/га$. Тевкеч выделяется высокой экологической устойчивостью растений без удобрений (сохранность 85,9 %), но меньшей отзывчивостью на интенсивные агроприемы.

4. Выявлена сложная динамика изменения чистой продуктивности фотосинтеза: увеличение доз минеральных удобрений приводит к росту этого показателя в фазах кущения, выхода в трубку и цветения, однако в фазе молочной спелости наблюдается обратный эффект. У сорта Раушан при максимальных дозах удобрений и гидрогеля продуктивность в фазе молочной спелости снижается до 1,44 г/ m^2 , что на 30 % ниже контрольного уровня (2,07 г/ m^2). Это указывает на перераспределение ассимилянтов в пользу генеративных органов на поздних стадиях развития.

5. Применение комбинации высоких доз удобрений ($N_{37}P_{60}K_{73}$) с гидрогелем (100 кг/га) повышает коэффициент полезного действия фотосинтетически активной радиации (КПД ФАР). У сортов Раушан и Камашевский максимальный КПД ФАР достигает 1,85 %, что на 0,35-0,45 % выше контрольных вариантов. Эффективность такой комбинации существенно зависит от погодных условий и сортовых особенностей. В благоприятном 2022 году у сорта Раушан КПД ФАР достигал 2,45 % при использовании $N_{37}P_{60}K_{73}$ с 50 кг/га гидрогеля, а в засушливом 2023 году снижался на 8-12 % даже при использовании гидрогеля.

6. Исследования 2022-2024 гг. подтверждают, что к моменту уборки запасы влаги в вариантах с гидрогелем были на 15-30 % выше по сравнению с вариантами без его применения. Наименьшие запасы влаги к уборке во все годы исследований зафиксированы в вариантах с высокими дозами удобрений без применения гидрогеля, что свидетельствует о более интенсивном развитии растений и формировании большой биомассы, требующей повышенного количества влаги. Совместное действие минерального питания и гидросорбента создает выраженный синергетический эффект. Применение $N_{37}P_{60}K_{73}$ и 100 кг/га гидрогеля обеспечивает наименьшие коэффициенты водопотребления, которые в среднем за три года составили: 479 м³/т у сорта Раушан 505 м³/т у сорта Камашевский и 462 м³/т у сорта Тевкеч, что на 23-24 % ниже, чем в контрольных вариантах.

7. Установлено, что сорта Камашевский и Тевкеч характеризуются высокой и стабильной прямой зависимостью продуктивности от уровня водопотребления ($r = 0,70-0,78$; $R^2 = 0,49-0,62$), что свидетельствует о доминирующей роли водного фактора в формировании их урожая. Данные генотипы проявляют себя как отзывчивые объекты для применения ресурсосберегающих технологий, направленных на оптимизацию водного режима (например, влагоудерживающих агентов). В отличие от них, сорт Раушан продемонстрировал неустойчивый характер данной зависимости, особенно в стрессовых условиях ($R^2=0,35$ в 2023 г.). Это указывает на то, что его продукционный процесс в значительной степени подвержен влиянию других, ненаблюдаемых факторов (возможно, физиологических или морфологических), которые нивелируют роль влагообеспеченности при наступлении неблагоприятных условий.

8. Сорт Раушан показал более четкие изменения по элементам структуры урожая (количество продуктивных стеблей, длина колоса, масса 1000 зерен) в ответ на различные фоны питания, чем сорт Камашевский. Сорт многорядного ячменя Тевкеч оптимизирует ресурсы не через увеличение числа продуктивных побегов, а ростом массы зерна с колоса при использовании минеральных удобрений и гидрогеля.

9. В среднем наиболее эффективный уровень урожайности по сортам был получен на фоне внесения $N_{37}P_{60}K_{73}$ + 50 кг гидрогеля. Сорт Раушан сформировал 4,29 т/га зерна, и прибавка к контролю составила 31 %, сорт Камашевский сформировал 4,05 т/га, обеспечив прибавку 23 % к контролю. Сорт Тевкеч – 4,45 т/га соответственно, обеспечив получение 21 %. Увеличение нормы внесения гидрогеля до 100 кг/га на этом фоне удобрений способствовало получению прибавки

по сортам на 7, 5, 3 % соответственно, но не покрывает затраты на дополнительное внесение сорбента.

10. Наибольшее содержание белка в зерне получено при использовании высоких доз удобрений $N_{37}P_{60}K_{73}$ с гидрогелем 100 кг/га. Самым высокобелковым на этом варианте оказался сорт Камашевский (14,1 %). Содержание белка в зерне данного сорта было на 0,7 % выше чем у сорта Раушан и на 1,5 % чем у Тевкеч. Валовый сбор белка с единицы площади был выше у более урожайного сорта Раушан. Данные свидетельствуют о синергетическом эффекте между удобрениями и влагосорбентом, который, вероятно, улучшает усвоение питательных элементов.

11. По итогам проведенных исследований, с точки зрения соблюдения экономико-агрономического баланса оптимальными являются технологии, обеспечивающие урожайность на уровне 85-90 % от потенциала сорта при рентабельности не менее 70 %, что достигается при использовании $N_5P_5K_{37} + 50$ кг/га гидрогеля.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Несмотря на агрономическую эффективность (рост урожайности до 37 %, улучшение качества зерна), высокие затраты на удобрения и гидрогель (100 кг/га) снижают рентабельность по сравнению с контролем.

В связи с этим предлагаются следующие перспективные направления для дальнейших исследований:

1. Экономическая оптимизация: точный расчет порога рентабельности для разных комбинаций удобрений/гидрогеля по сортам; разработка ресурсосберегающих схем: снижение доз NPK (например, за счет подкормки по вегетации, применения биологических препаратов), обеспечивающих приемлемую прибавку при меньших затратах; анализ стоимости гидрогеля и поиск более дешевых аналогов и способов внесения.

2. Сортовая адаптация – создание новых генотипов, агрохимически отзывчивых на умеренные дозы ресурсов.

3. Комплексный агроэкологический подход: интеграция гидрогеля в системы точного земледелия (локальное внесение, учет влажности почвы); исследование пролонгированного влияния гидрогеля на водный режим и плодородие почвы и возможность снижения общих затрат за счет улучшения ее свойств; оценка эффективности гидрогеля в сочетании с органическими удобрениями или биопрепаратами.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

На серых лесных среднесуглинистых почвах Предкамской зоны Республики Татарстан для оптимизации водного режима растений и повышения эффективности использования удобрений, с целью увеличения урожаев и качества зерна сортов Раушан и Тевкеч рекомендуется вносить экономически оправданные нормы минеральных удобрений с добавлением 50 кг/га гидрогеля.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендуемых ВАК Российской Федерации

1. Амиров М.Ф. Формирование урожайности многорядного ярового ячменя в зависимости от внесения влагосорбента и минеральных удобрений в условиях Республики Татарстан / М.Ф. Амиров, **Р.Р. Сулейманов** // Агробιοтехнологии и цифровое земледелие. – 2025. – Т. 4, № 2(14). – С. 13-20. – DOI 10.12737/2782-490X-2025-13-20. – EDN SBABDU.

2. Амиров М.Ф. Формирование урожайности сортов ярового ячменя в зависимости от агротехнических приемов возделывания в условиях Республики Татарстан / М.Ф. Амиров, **Р.Р. Сулейманов** // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – Т. 10, № 3. С. 17-24. DOI: 10.55170/1997-3225-2025-10-3-17-24.

Статьи, опубликованные в других научных журналах и сборниках материалов международных и всероссийских научно-практических конференций

1. Амиров М. Ф. Отзывчивость двурядного ярового ячменя на различные фоны минерального питания в условиях Предкамья Республики Татарстан / М.Ф. Амиров, **Р.Р. Сулейманов**, П.Г. Семенов // Роль аграрной науки в решении проблем современного земледелия: сборник трудов всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной памяти профессора кафедры растениеводства и плодoоовощеводства д.с-х.н., профессора А.А. Зиганшина, Казань, 05-06 апреля 2023 года. – Казань: ФГБОУ ВО Казанский ГАУ, 2024. – С. 75-83. – EDN TWXRIK.

2. Амиров М. Ф. Пути повышения эффективного использования продуктивной влаги на посевах ярового ячменя в условиях Предкамья Республики Татарстан / М.Ф. Амиров, **Р.Р. Сулейманов**, Г.И. Шаракова // Роль аграрной науки в решении проблем современного земледелия: сборник трудов всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной памяти профессора кафедры растениеводства и плодoоовощеводства д.с-х.н., профессора А.А. Зиганшина, Казань, 05-06 апреля 2023 года. – Казань: ФГБОУ ВО Казанский ГАУ, 2024. – С. 66-74. – EDN RHJNJH.

3. Амиров М.Ф. Отзывчивость многорядного ярового ячменя на различные дозы удобрений в условиях Предкамья Республики Татарстан / М. Ф. Амиров, **Р.Р. Сулейманов**, Г.И. Шаракова // Роль аграрной науки в решении проблем современного земледелия: сборник трудов всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной памяти профессора кафедры растениеводства и плодoоовощеводства д.с-х.н., профессора А.А. Зиганшина, Казань, 05–06 апреля 2023 года. – Казань: ФГБОУ ВО Казанский ГАУ, 2024. – С. 142-149. – EDN GQYKCM.

Патент на изобретение

Патент № 2822456 С1 РФ, МПК А01С 1/06. Способ повышения эффективности использования минеральных веществ на посевах многорядного ячменя: № 2023128918: заявл. 08.11.2023: опубл.05.07.2024 / М.Ф. Амиров, **Р.Р. Сулейманов**; заявитель ФГБОУ ВО Казанский ГАУ. – EDN JUIVPW.