

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.3.330-339>

УДК 631.5:633.16(470.2)

Влияние агротехнологических факторов на урожайность ярового ячменя в условиях Ленинградской области

© 2024. М. А. Фесенко✉, А. М. Шпанев

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Представлены результаты сравнительной оценки влияния основных агротехнологических факторов на формирование урожая ярового ячменя сорта Московский 86 в природно-климатических условиях Ленинградской области. Исследования проводили в период 2019–2021 гг. на дерново-слабоподзолистой супесчаной почве. Схема микрополевого опыта включала три изучаемых фактора: норма высева (4, 5 и 6 млн всх. семян/га), доза азотного удобрения (N_0 и N_{60}), гербицидная обработка (без обработки, Линтур, ВДГ). По результатам исследований определено, что более стабильный вклад в формирование урожайности ярового ячменя, по причине меньшей зависимости от погодных условий, оказывала норма высева семян (0,1 %, 28,0 и 18,0 % по годам исследований). Урожайность ячменя в опыте в большей степени определялась внесением азотного удобрения (47,4 %), чем нормой высева семян (13,9 %). Влияние этих факторов, главным образом, распространялось на густоту продуктивного стеблестоя, которая возрастала с увеличением нормы высева на 22,0–31,7 %, от внесения азотного удобрения – в 2,1 раза (2019 г.). В условиях острого дефицита влаги действие гербицида на урожайность ячменя было слабым (0,9–1,9 %) и не ощутимым с хозяйственной точки зрения. Стрессовый эффект от применения гербицида сильнее проявлялся в неудобренном варианте. Выраженный хозяйственный эффект от проведения гербицидной обработки (на уровне 18,2 % сохраненного урожая) отмечался на фоне высокой эффективности азотного удобрения. Формирование наибольшей урожайности ярового ячменя сорта Московский 86 (250 г/м²) достигалось за счет предпосевного внесения азотного удобрения в дозе 60 кг д. в./га, нормы высева 6 млн всх. семян/га и проведения гербицидной обработки.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare* L., норма высева, азотные удобрения, гербицидная обработка, урожайность, элементы структуры урожая, вклад факторов

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (тема № FGEG-2022-0007).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Фесенко М. А., Шпанев А. М. Влияние агротехнологических факторов на урожайность ярового ячменя в условиях Ленинградской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(3):330–339.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.3.330-339>

Поступила: 30.03.2024

Принята к публикации: 07.05.2024

Опубликована онлайн: 26.06.2024

The influence of agrotechnological factors on the yield of spring barley in the conditions of the Leningrad region

© 2024. Maria A. Fesenko✉, Alexander M. Shpanev

Agrophysical Research Institute, Saint-Petersburg, Russian Federation

The results of a comparative assessment of the influence of main agrotechnological factors on the harvest of spring barley cultivar 'Moskovsky 86' in natural and climatic conditions in the Leningrad Region are presented. The research was conducted between 2019 and 2021 on swardy cryptopodzol loamy sand soil. The scheme of micro field experiment included three studied factors: seeding rate (4, 5, and 6 million germinating seeds/ha), nitrogen fertilizer dose (N_0 and N_{60}) and herbicidal treatment (no treatment, Lintur, or EDG). According to the results of the research it was found that the seeding rate of 0.1 %, 28 %, and 18 % over the years of the study had a more stable influence on the yield of spring barley due to its less dependence on weather conditions. The yield of barley in the experiment (47.4 %) was more determined by the application of nitrogen fertilizer than by the seeding rate (13.9 %). These factors influenced mainly on the density of the productive stem, which increased with the raise in the seeding rate by 22.0–31.7 %. With the application of nitrogen fertilizer, it increased by 2.1 times (in 2019). Under conditions of acute moisture shortage, the effect of the herbicide on barley yields was weak (0.9–1.9 %) and not significant from the economic point of view. The impact of using the herbicide under stress was more evident in the variant without fertilizers. The formation of the highest yield of spring barley of the 'Moskovsky 86' cultivar (250 g/m²) was achieved due to the pre-sowing application of nitrogen fertilizer at a dose of 60 kg a.i./ha, a seeding rate of 6 million germinating seeds/ha and herbicidal treatment.

Keywords: *Hordeum vulgare* L., seeding rate, nitrogen fertilizers, herbicide treatment, yield, elements of crop structure, contribution of factors

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Agrophysical Research Institute (theme No. FGEG-2022-0007).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated no conflicts of interest.

For citation: Fesenko M. A., Shpanev A. M. The influence of agrotechnological factors on the yield of spring barley in the conditions of the Leningrad region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(3):330–339. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.3.330-339>

Received: 30.03.2024

Accepted for publication: 07.05.2024

Published online: 26.06.2024

Базовыми элементами роста урожайности полевых культур являются использование достижений селекции и внедрение прогрессивных агротехнологий [1, 2, 3]. Сорт определяет главные требования к агротехнологиям, которые дают возможность реализовать его генетический потенциал. У ячменя, как и у большинства сельскохозяйственных культур, отбор высокопродуктивных генотипов привел к сужению генетического разнообразия и уязвимости растений к стрессовым воздействиям разного происхождения [4, 5, 6]. В такой ситуации получение максимального урожая возможно только при химико-техногенной интенсификации растениеводства [7]. Как следствие, исследования, включающие весь комплекс агроприемов по созданию благоприятных условий для роста и развития растений ярового ячменя – основной фуражной культуры Ленинградской области, являются актуальными.

Среди агротехнологических мероприятий при возделывании ярового ячменя на дерново-подзолистых почвах Ленинградской области, характеризующихся естественным низким уровнем плодородия, большое значение имеет внесение удобрений. Так, повышение урожайности ярового ячменя от внесения средних и высоких доз минеральных удобрений варьировало по годам в пределах 1,49–2,17 т/га (60–173 %) [8]. При этом оптимальной дозой полного минерального удобрения можно считать 60 кг д. в./га [9].

В условиях сильной засоренности посевов, присущей регионам с достаточным и избыточным увлажнением, высокий хозяйственный эффект ожидается от проведения гербицидной обработки. По нашим данным, в зависимости от уровня азотного питания, хозяйственный эффект обработки посевов ячменя сорта Ленинградский гербицидом составил от 0,09 до 0,63 т/га, или 4,8–26,4 % [10].

Зависимость урожайности ячменя от нормы высева семян сортоспецифична. Максимальная

урожайность у сортов Суздалец, Авторитет, Саломе, Раушан получена при высева 5 млн всх. семян/га [11, 12, 13], сорта Амур – 3–4 [14], Знатный – 3,0–4,5 млн всх. семян/га [15]. Для сортов Нур, Приазовский 9, Ратник, Сокол, Алей, Алтайский 10, Ворсинский 2, Салаир влияние нормы высева на зерновую продуктивность ячменя было неоднозначным и зависело от погодных условий периода вегетации культуры [16, 17]. Существует мнение, что при возделывании культур в более прохладных и увлажненных климатических условиях норма высева семян должна увеличиваться, отчасти поэтому нормы высева в России в 1,5–2,0 раза выше, чем в Европе [18].

Цель исследований – изучить влияние комплекса агротехнологических факторов (норма высева, внесение азотного удобрения, гербицидная обработка) на формирование урожайности ярового ячменя в почвенно-климатических условиях Ленинградской области.

Научная новизна – определен вклад нормы высева, предпосевного внесения азотного удобрения и гербицидной обработки в формировании урожайности и элементов структуры урожая ярового ячменя сорта Московский 86 в почвенно-климатических условиях Ленинградской области. Показано отсутствие хозяйственного эффекта от применения гербицида в условиях длительного дефицита влаги.

Материал и методы. Исследования проводили в период 2019–2021 гг. на экспериментальной базе Меньковского филиала ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», расположенного в Гатчинском районе Ленинградской области. Почва опытных полей дерново-слабоподзолистая супесчаная. Агрохимические показатели пахотного слоя почвы: pH_{KCl} – 4,5 (ГОСТ 26483-85¹), органическое вещество – 2,9 % (ГОСТ 26213-91²), P_2O_5 – 145,1 мг/кг почвы, K_2O – 48,4 мг/кг почвы (ГОСТ 26207-84³).

¹ГОСТ 26483-85. Почвы. Определение pH солевой вытяжки, обменной кислотности, обменных катионов, содержания нитратов, обменного аммония и подвижной серы методами ЦИНАО. М., 1985. 6 с.

URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/738/4294827946.pdf>

²ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. М., 1991. 8 с.

URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/f09/4294828267.pdf>

³ГОСТ 26207-84. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М., 1984. 11 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/ef7/4294828346.pdf>

В изучении находился сорт ярового ячменя зернофуражного назначения Московский 86 (оригинатор – Московский НИИСХ «Немчиновка»), имеющий допуск к возделыванию в Северо-Западном регионе РФ с 2011 г. Из характеристики сорта известно, что он отзывчив на применение повышенных доз удобрений и средств защиты растений [19].

Схема микрополевого опыта включала три изучаемых фактора: норма высева (4, 5 и 6 млн всх. семян/га); доза азотного удобрения (N_0 и N_{60}); гербицидная обработка. В качестве азотного удобрения использовали аммиачную селитру, которую вносили под заделку культиватором перед посевом. Посев проводили вручную, с шириной междурядий 15 см и нормой, определенной схемой опыта для каждой делянки. Площадь делянки – 2 м² (1,7×1,2 м), общее количество делянок из расчета 4-кратной повторности – 48. Для борьбы с сорной растительностью использовали гербицид Линтур, ВДГ⁴ (0,135 кг/га) в фазу кущения культуры – 7 июня (2019 г.), 12 июня (2020 г.) и 10 июня (2021 г.)

Оценку засоренности делянок опыта и учет урожая проводили на 48 постоянных учетных площадках 0,1 м² (30×33 см), установленных после появления всходов ярового ячменя, в соответствии с методическими указаниями⁵.

Годы исследований значительно различались по метеоусловиям. По сумме активных температур отмечен период вегетации 2019 г., по количеству выпавших осадков – 2020 г., который превосходил 2021 г. (на 20,3 %) и 2019 г. (на 41,8 %). Начало вегетации ячменя в 2020 и 2021 гг. проходило при значительном количестве осадков. Общим для всех трех лет проведения опыта являлся дефицит осадков в период «всходы-кущение» (табл. 1). Низкие температуры 2-й декады мая в 2020 году задержали сроки появления всходов ярового ячменя. Самый короткий период вегетации ячменя наблюдали в 2021 г., чему способствовал длительный период высоких температур при отсутствии осадков в 1-2 декадах июля.

Статистическая обработка данных заключалась в проведении дисперсионного и корреляционного анализов в программе Excel.

Таблица 1 – Метеорологические условия и продолжительность периода вегетации ярового ячменя сорта Московский 86 в годы исследований (по данным метеопоста Менковского филиала Агрофизического НИИ) /
Table 1 – Meteorological conditions and duration of the growing season of spring barley ‘Moskovsky 86’ cultivar during the years of the research (according to the data of the weather station of the Menkovsky branch of the Agrophysical Research Institute)

Показатель / Indicator	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Сумма активных температур в период «посев-созревание», °C / The sum of active temperatures during the sowing-ripening period, °C	1949	1809	1841
Сумма осадков в период «посев-созревание», мм / Total precipitation during the sowing-ripening period, mm	279	479	382
Гидротермический коэффициент ⁶ за период: / Hydrothermal coefficient for the period:			
посев-всходы / sowing-seedling	1,0	3,4	3,2
всходы-кущение / shoots-tillering	0,7	1,1	1,5
кущение-созревание / tillering-ripening	1,6	2,8	2,0
посев-созревание / sowing-ripening	1,4	2,6	2,1
Продолжительность периода, сутки: / Length of period, days:			
посев-всходы / sowing-seedling	16	22	12
всходы-созревание / shoots-ripening	100	96	82

Результаты и их обсуждение. Урожайность ярового ячменя в опыте варьировала в значительных пределах: от 80 до 280 г/м² –

в 2019 г., 210–340 – в 2020 г. и 70–130 г/м² – в 2021 г. (табл. 2).

⁴Линтур, ВДГ. Пестициды.ru. [Электронный ресурс].

URL: <https://www.pesticide.ru/pesticide/linтур> (дата обращения: 16.01.2024).

⁵Зубков А. Ф. Методические указания по оценке вредоносности комплекса вредных организмов при помощи путевого регрессионного анализа. Л.: ВИЗР, 1981. 32 с.

⁶Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата. Труды по сельскохозяйственной метеорологии. Л., 1928. Вып. 20. С. 165–177.

Таблица 2 – Влияние агротехнических факторов на урожайность ярового ячменя сорта Московский 86 /
Table 2 – The influence of agrotechnical factors on the yield of spring barley ‘Moskovsky 86’ cultivar

Фактор опыта / Experiment factor			Урожайность, г/м ² / Productivity, g/m ²			
доза удобрений (А) / fertilizer dose (A)	норма высева, млн всх. семян/га (В) / seeding rate, million germinating seeds/ha (B)	гербицид (С) / herbicide (C)	2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее / average
N ₀	4	0	90	250	80	140
		Линтур, ВДГ / Lintur, VDG	90	270	100	150
	5	0	110	300	110	170
		Линтур, ВДГ / Lintur, VDG	100	260	120	160
	6	0	90	290	100	160
		Линтур, ВДГ / Lintur, VDG	80	270	120	150
N ₆₀	4	0	210	230	70	170
		Линтур, ВДГ / Lintur, VDG	280	210	90	190
	5	0	230	310	120	220
		Линтур, ВДГ / Lintur, VDG	220	300	110	210
	6	0	220	340	130	230
		Линтур, ВДГ / Lintur, VDG	280	340	130	250
Среднее по дозе удобрений (А) / Average by the dose of fertilizers (A)		N ₀	90	270	100	160
		N ₆₀	240*	290	110	210
Среднее по норме высева (В) / Average by the seeding rate (B)		4	170	240	90	160
		5	170	290*	110	190
		6	170	310*	120*	200
Среднее по гербициду (С) / Average by the herbicide (C)		0	160	290	100	180
		Линтур, ВДГ / Lintur, VDG	180	280	110	190
		НСП ₀₅ (ABC)	60	60	50	80
		НСП ₀₅ (A)	40	40	40	60
		НСП ₀₅ (B)	30	30	30	50
		НСП ₀₅ (C)	40	40	40	60

* Достоверные значения при P≥0,95 / Significant values at P≥0,95

Исследования показали, что в 2019 г. максимальный урожай ярового ячменя был получен на фоне с применением удобрения и гербицида при норме высева 6 млн всх. семян на гектар. При этом достоверные различия по урожайности ячменя отмечены только между вариантами с разной удобренностью культуры.

В 2020 и 2021 гг. урожайность ярового ячменя увеличивалась с повышением густоты стояния растений и внесением азотных удобрений. Наибольший урожай получен на фоне удобрений при норме высева 6 млн всх. семян/га.

Положительного действия гербицида обнаружено не было. Достоверные различия установлены только между вариантами с разными нормами высева.

Низкая хозяйственная эффективность гербицидной обработки нашла подтверждение по результатам проведения дисперсионного анализа. Вклад данного фактора в величину урожая в зависимости от года составил 0,9–1,9 %, взаимодействие эффектов с другими агротехнологическими факторами было таким же слабым (табл. 3). Выявлено статистически

значимое взаимодействие азотного удобрения и нормы высева семян как по данным 2020 г., так и обобщенным данным 2019–2021 гг.

Внесением азотного удобрения в большей степени определялась урожайность ячменя в опыте (47,4 %), чем нормой высева (13,9 %).

Таблица 3 – Вклад агротехнологических факторов в формирование урожайности ярового ячменя сорта Московский 86 в условиях Ленинградской области /

Table 3 – The contribution of agrotechnological factors to the formation of the yield of spring barley of the 'Moskovsky 86' cultivar in the conditions of the Leningrad region

Фактор / Factor	Доля влияния, % / Share of influence, %			
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее / average
Норма высева (НВ) / Seeding rate (SR)	0,1	28,0*	18,0*	13,9*
Азотное удобрение (АУ) / Nitrogen fertilizer (NF)	75,3*	1,6	0,7	47,4*
Гербицидная обработка (ГО) / Herbicide treatment (HT)	1,1	0,9	1,9	0,5
Взаимодействие НВ + АУ / Interactions SR + NF	1,4	15,7*	5,4	7,6*
Взаимодействие НВ + ГО / Interactions SR + HT	1,4	0,5	0,4	1,8
Взаимодействие АУ + ГО / Interactions NF + HT	1,6	0,0	0,8	0,5
Взаимодействие НВ + АУ + ГО / Interactions SR + NF + HT	1,5	1,7	0,2	0,7

* Достоверные значения при $P \geq 0,95$ / Significant values at $P \geq 0,95$

По усредненным данным за 2019–2021 гг., лучшим по урожайности ярового ячменя в опыте выделился вариант, в котором осуществлялось предпосевное внесение азотного удобрения, посев с нормой высева 6 млн всх. семян/га, проведение гербицидной обработки.

Рассматривая отдельно блок без внесения азотных удобрений, можно отметить, что наивысшая урожайность ячменя фиксировалась при норме высева 5 млн всх. семян/га, поскольку увеличение количества растений, произрастаемых на единице площади посева, приводило к снижению их продуктивности. По мере увеличения нормы высева масса зерна

с колоса снижалась с 0,37 до 0,34 и 0,28 г, что получило и статистическое подтверждение. При норме высева 6 млн всх. семян/га наблюдали резкое снижение озерненности колоса (на 20,2 %) и в меньшей степени массы 1000 зерен (на 7,5 %). В вариантах с внесением азотного удобрения подобных эффектов не отмечалось.

Анализ корреляционной матрицы показал, что основным компонентом, определяющим урожайность ярового ячменя, являлась густота продуктивного стеблестоя, далее в порядке убывания значимости располагались элементы структуры – «масса зерна с колоса», «число зерен в колосе» и «масса 1000 зерен» (табл. 4).

Таблица 4 – Коэффициенты корреляции между урожайностью и элементами структуры урожая ярового ячменя сорта Московский 86 /

Table 4 – Correlation coefficients between the yield and the elements of the yield structure of spring barley of the 'Moskovsky 86' cultivar

Элемент структуры урожая / Harvest structure element	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Среднее / Average
Густота продуктивных стеблей, шт/м ² / Density of productive stems, pieces/m ²	0,93*	0,71*	0,77*	0,85*
Число зерен в колосе, шт/колос / Number of grains in an ear, pieces/ear	0,57*	0,41*	0,39*	0,62*
Масса зерна с колоса, г/колос / Grain weight per ear, grams/ear	0,63*	0,50*	0,57*	0,80*
Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, grams	0,32*	0,54*	0,56*	0,54*

* Достоверные значения при $P \geq 0,95$ / Significant values at $P \geq 0,95$

Густота продуктивного стеблестоя достоверно возрастала с увеличением нормы высева семян во все годы изучения, в среднем на 98–141 шт/м², или 22,0–31,7 %. Действие азотного удобрения на данный элемент структуры урожая было значимым только в 2019 г., когда

густота продуктивных стеблей увеличилась на 306 шт/м² (в 1,8 раза) и на 463 шт/м² (в 2,4 раза) в сочетании с гербицидной обработкой (табл. 5). Озерненность колоса увеличилась с улучшением азотного питания растений на 5,4–20,3 %.

Таблица 5 – Влияние агротехнических факторов на значения элементов структуры урожая ярового ячменя сорта Московский 86 /

Table 5 – The influence of agrotechnical factors on the values of the elements of the yield structure of spring barley ‘Moskovsky 86’ cultivar

Доза удобрений (А) / Fertilizer dose (A)	Норма высева, млн. всх. семян/га (В) / Seeding rate, million germinating seeds/ha (B)	Гербицид (С) / Herbicide (C)	Густота продуктив- ных стеблей, шт/м² / Density of productive stems, pieces/m²			Число зерен в колосе, шт. / Number of grains in an ear, pieces/ear			Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, grams		
			2019 г.	2020 г.	2021 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
N ₀	4	0	350	523	290	5,9	11,5	8,9	41,8	41,5	30,4
		Линтур, ВДГ/ Lintur, VDG	303	485	313	6,7	13,4	9,7	45,8	41,4	30,7
	5	0	363	678	385	7,5	10,8	9,0	38,8	40,6	29,7
		Линтур, ВДГ/ Lintur, VDG	365	620	430	6,8	11,0	8,0	41,6	38,9	32,3
	6	0	423	770	473	5,7	9,7	6,3	37,1	38,9	29,6
		Линтур, ВДГ/ Lintur, VDG	333	678	498	6,1	10,4	6,8	37,9	37,7	32,9
N ₆₀	4	0	578	503	268	8,7	11,5	9,3	42,9	38,3	27,5
		Линтур, ВДГ/ Lintur, VDG	763	473	275	8,1	11,6	9,8	44,8	37,3	30,0
	5	0	713	658	393	7,9	11,4	9,4	41,1	39,8	29,4
		Линтур, ВДГ/ Lintur, VDG	765	623	398	6,5	11,9	8,8	44,8	39,4	30,3
	6	0	763	675	458	6,8	12,3	8,9	42,4	41,0	30,1
		Линтур, ВДГ/ Lintur, VDG	860	770	408	7,9	11,5	9,6	42,4	38,7	30,9
Среднее по дозе удобрений (А) / Average dose of fertilizers (A)		N ₀	356	625	398	6,4	11,1	8,1	40,5	39,8	30,9
		N ₆₀	740*	617	366	7,7	11,7	9,3	43,1	39,1	29,7
Среднее по норме высева (В) / Average by seeding rate (B)		4	517	518	300	7,6	11,9*	10,0	43,5	39,9	30,6
		5	556	665*	409*	7,3	11,3	9,1	41,0	39,5	31,2
		6	588	714*	456*	7,1	10,9	8,2*	40,0	38,9	30,5
Среднее по гербициду (С) / Average by herbicide (C)		0	531	634	378	7,1	11,2	8,6	40,7	40,0	29,5
		Линтур, ВДГ/ Lintur, VDG	565	608	387	7,0	11,6	8,8	42,9	38,9	31,2
		НСР ₀₅ (ABC)	147	73	113	1,7	1,4	1,8	6,5	1,8	3,3
		НСР ₀₅ (А)	104*	51	80	1,2*	1,0	1,3*	4,6	1,3	2,3
		НСР ₀₅ (В)	85*	42*	65*	1,0	0,8*	1,1*	3,8	1,0	1,9
		НСР ₀₅ (С)	104	51	80	1,2	1,0	1,3	4,6	1,3*	2,3*

* Достоверные значения при P≥0,95 / Significant values at P≥0.95

Применение гербицида – единственный фактор в опыте, который оказывал воздействие непосредственно на вегетирующие

растения ячменя, а значит, и на формирование продуктивности в процессе роста и развития культуры.

Показанием для проведения обработки гербицидами является превышение порогового уровня засоренности посева, равного 10–12 % проективного покрытия сорными растениями в фазу кущения культуры [20]. В нашем эксперименте величина проективного покрытия составляла 26,4 % (2019 г.), 25,9 (2020 г.) и 27,0 % (2021 г.), что указывает на целесообразность проведения гербицидной обработки в каждый из годов исследований. Необходимость в таковой еще более возрастала в варианте с внесением азотного удобрения, где проективное покрытие сорными растениями увеличивалось в зависимости от года на величину, равную 7,1–22,0 %, или в 1,3–2,4 раза. Только в условиях 2021 г. просматривалась некоторая тенденция к снижению засоренности участков по мере увеличения нормы высева ячменя. Проективное покрытие сорными растениями составляло 28,0, 27,1 и 26,0 % при нормах высева 4, 5 и 6 млн всх. семян/га соответственно.

Действие гербицида на все элементы структуры урожая ячменя было неоднозначным и слабым, отрицательным на фоне дефицита

азотного питания, что подтверждается наличием визуально просматриваемого стрессового эффекта у ярового ячменя от гербицидной обработки в условиях жаркой засушливой погоды. В варианте с внесением азотного удобрения столь сильного отрицательного эффекта на густоту стеблестоя и другие элементы структуры урожая ячменя не отмечалось.

Совместное влияние гербицидной обработки и других изучаемых агротехнологических факторов не приводило к достоверным изменениям элементов структуры урожая, что подтверждается отсутствием эффектов взаимодействия между ними (табл. 6). Исключением являлось действие гербицида и азотного удобрения на густоту продуктивного стеблестоя. Выбором нормы высева в основном определялась густота продуктивного стеблестоя (47,1 %), в меньшей степени число и масса зерна в колосе. Действие азотных удобрений распространялось на те же элементы структуры урожая, но по силе влияния, оказываемого на густоту продуктивных стеблей, уступало норме высева.

Таблица 6 – Вклад агротехнологических факторов в формирование элементов структуры урожая ярового ячменя сорта Московский 86 в условиях Ленинградской области (среднее за 2019–2021 гг.) /
Table 6 – Contribution of agrotechnological factors to the formation of elements of the spring barley harvest structure in the conditions of the Leningrad region ‘Moskovsky 86’ cultivar (average for 2019–2021)

Фактор / Factor	Доля влияния на элементы структуры урожая, % / Share of influence on the elements of the crop structure, %			
	густота продуктивных стеблей / density of productive stems	число зерен в колосе / number of grains in an ear	масса зерна в колосе / weight of grain in an ear	масса 1000 зерен / weight of 1000 grains
Норма высева (НВ) / Seeding rate (SR)	47,1*	18,7*	17,1*	4,8
Азотное удобрение (АУ) / Nitrogen fertilizer (NF)	33,1*	22,4*	15,1*	0,3
Гербицидная обработка (ГО) / Herbicide treatment (HT)	0,1	0,7	1,6	5,6
Взаимодействие НВ + АУ / Interactions SR + NF	0,3	12,2*	16,0*	15,4*
Взаимодействие НВ + ГО / Interactions SR + HT	0,2	5,1	3,4	1,6
Взаимодействие АУ + ГО / Interactions NF + HT	2,4*	1,3	1,4	0,5
Взаимодействие НВ + АУ + ГО / Interactions SR + NF + HT	0,9	1,5	1,3	0,8

* Достоверные значения при $P \geq 0,95$ / Significant values at $P \geq 0,95$

Выводы. 1. Формирование наибольшей урожайности ярового ячменя сорта Московский 86 в благоприятных условиях увлажнения (ГТК – 2,1–2,6) достигалось за счет предпо-

севного внесения азотного удобрения в дозе 60 кг д. в./га, проведения гербицидной обработки и нормы высева 6 млн. всх. семян/га. При неблагоприятном гидротермическом режиме

(ГТК = 1,4) увеличение нормы высева с 4 до 6 млн всх. семян/га не приводило к повышению урожайности ячменя, которая максимальной величины достигала на фоне улучшения азотного питания и уничтожения сорных растений гербицидами.

2. Наиболее стабильным по оказываемому воздействию на величину урожайности ячменя выявлено влияние нормы высева, которое достоверно проявилось в два года из трех (на уровне 18 и 28 %), тогда как хозяйственная эффективность азотных удобрений и гербицидной обработки в большей степени зависела от складывающихся погодных условий. Азотные удобрения обладают наиболее высоким потенциалом повышения зерновой продуктивности ярового ячменя в почвенно-климатических условиях Ленинградской области. Доля

влияния этого фактора достигала в один из годов исследования 75,3 %, прибавка урожая составила 2,7 раза. Как и в случае с нормой высева, положительное влияние азотного удобрения распространялось на все основные элементы структуры урожая – густоту продуктивного стеблестоя (33,1 %), число зерен в колосе (22,4 %) и массу 1000 зерен (15,1 %). В условиях дефицита влаги и азотного питания действие гербицида на урожайность и элементы структуры урожая ячменя было слабым и не ощутимым с хозяйственной точки зрения. На фоне высокой эффективности азотного удобрения отмечался выраженный хозяйственный эффект от проведения гербицидной обработки (на уровне 18,2 % сохраненного урожая), главным образом за счет большей густоты продуктивного стеблестоя.

Список литературы

1. Якушев В. П., Михайленко И. М., Драгавцев В. А. Агротехнологические и селекционные резервы повышения урожая зерновых культур в России. Сельскохозяйственная биология. 2015;50(5):550–560. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.5.550rus> EDN: UXSRID
2. Сурин Н. А., Герасимов С. А., Бобровский А. В., Крючков А. А. Разработка элементов сортовой агротехники зерновых культур в Красноярском крае. Земледелие. 2021;(7):22–25. DOI: <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2021-7-22-25> EDN: KWWBYJ
3. Зотиков В. И., Полухин А. А., Грядунова Н. В. Развитие инновационных агротехнологий в растениеводстве на основе селекционных достижений. Зернобобовые и крупяные культуры. 2023;(2(46)):5–9. DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2023-2-5-9> EDN: GGAMMB
4. Лялина Е. В., Болдырев С. В., Поморцев А. А. Современное состояние генетического разнообразия ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) в России по аллелям гордеинкодирующих локусов. Генетика. 2016;52(6):650–663. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0016675816060072> EDN: WDOMKN
5. Кокина Л. П., Щеклеина Л. М., Кунилова А. В. Источники селекционно-ценных признаков и их использование в создании адаптивных к условиям Волго-Вятского региона сортов ячменя. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(3):9–14. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2017.58.3.09-14> EDN: YOQWWB
6. Филиппов Е. Г., Брагин Р. Н., Донцов Д. П. Анализ показателей адаптивности сортов и линий ярового ячменя в экологическом сортоиспытании. Таврический вестник аграрной науки. 2022;(4(32)): 221–230. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49982577> EDN: WFQBII
7. Жученко А. А. Пути инновационно-адаптивного развития АПК России в XXI столетии. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2011. 143 с.
8. Шпанев А. М., Фесенко М. А., Смук В. В. Эффективность комплексного применения средств химизации при возделывании ярового ячменя на Северо-Западе РФ. Агрохимия. 2019;(12):47–55. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119120093> EDN: OTXGRF
9. Седяков М. В. Влияние агротехнологических приемов на хозяйственно-ценные признаки новой перспективной линии ярового ячменя Л-1800. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2021;(1(62)):59–67. DOI: <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2021-1-59-67> EDN: ALPGNC
10. Шпанев А. М. Влияние доз азотного удобрения на эффективность гербицидной обработки в посевах зерновых культур на Северо-Западе РФ. Агрохимия. 2021;(10):74–80. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188121100136> EDN: HKOWZI
11. Владимиров В. П., Гареев И. Р., Бизянов С. Я. Продуктивность и качество зерна ячменя в зависимости от норм высева и расчетных доз удобрений в условиях лесостепи Среднего Поволжья. Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. 2019;(3(10)):21–26. DOI: <https://doi.org/10.17022/800m-6792> EDN: YXZVRA
12. Таланов И. П., Каримова Л. З. Продуктивность ячменя в зависимости от фонов питания и нормы высева. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019;(3(54)):67–70. DOI: https://doi.org/10.12737/article_5db95a9da9c0.43759300 EDN: BYHLBO

13. Дериглазова Г. М., Лазарев В. И., Минченко Ж. Н. Эффективность основных приемов и способов возделывания ярового ячменя в условиях ЦЧР. Достижения науки и техники АПК. 2023;37(7):34–38. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54674131> EDN: XXGKNG
14. Куркова И. В., Кузнецова А. С. Влияние сроков посева и норм высева на урожайность ярового ячменя сорта Амур. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2016;(2(39)):17–21. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=wqrvf> EDN: WQRVF
15. Левакова О. В. Отзывчивость нового сорта ярового ячменя Знатный на норму высева в условиях Рязанской области. Аграрная наука. 2021;(3):70–73. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-346-3-70-73> EDN: TTFQGE
16. Каримова Л. З., Сафин Р. И., Таланов И. П. Влияние пред посевной обработки семян и нормы высева на формирование урожая и пораженность растений ячменя корневыми гнилями. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2015;(1(29)):21–25. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23887716> EDN: UCTCPB
17. Кузикеев Ж. В., Борадулина В. А., Мусалитин Г. М., Кузикеева А. П. Реакция сортов ячменя на нормы высева и уровень азотного питания на выщелоченных черноземах алтайского Приобья. Достижения науки и техники АПК. 2020;(7(34)):27–31. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10704> EDN: CSNCWX
18. Дурнев Г. И. Научный анализ проблем и достижений при возделывании сельскохозяйственных культур в России. Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2007;(3(6)):14–19. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12963826> EDN: KXRWOX
19. Политыко П. М., Киселев Е. Ф., Капранов В. Н., Мерзликін А. С., Посметный Р. С., Абрамова Н. А., Ерошенко Л. М., Табунщик Л. Ф., Беленикин С. В., Прокопенко А. Г., Матюта С. В., Кондратенко О. П., Федорищев В. Н., Тареев А. И. Роль минеральных удобрений и средств защиты растений в формировании урожайности и качества зерна сортов ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) при разных технологиях возделывания на дерново-подзолистых почвах. Проблемы агрохимии и экологии. 2017;(2):13–18. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29763505> EDN: ZBIENX
20. Алехин В. Т., Михайликова В. В., Михина Н. Г. Экономические пороги вредоносности вредителей, болезней и сорных растений в посевах сельскохозяйственных культур. М.: Росинформагротех, 2016. 73 с.

References

1. Yakushev V. P., Mikhaylenko I. M., Dragavtsev V. A. Reserves of agro-technologies and breeding for cereal yield increasing in the Russian Federation. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2015;50(5):550–560. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.5.550rus>
2. Surin N. A., Gerasimov S. A., Bobrovskiy A. V., Kryuchkov A. A. Development of varietal agrotechnics elements for cereals in the Krasnoyarsk territory. *Zemledelie*. 2021;(7):22–25. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2021-7-22-25>
3. Zotikov V. I., Polukhin A. A., Gryadunova N. V. Development of innovative technologies in crop production based on breeding achievements. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2023;(2(46)):5–9. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2023-2-5-9>
4. Lyalina E. V., Boldyrev S. V., Pomortsev A. A. Current state of the genetic polymorphism in spring barley (*Hordeum vulgare* L.) from Russia assessed by the alleles of hordein-coding loci. *Genetika* = Russian Journal of Genetics. 2016;52(6):650–663. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S0016675816060072>
5. Kokina L. P., Shehekleina L. M., Kunilova A. V. Sources of valuable breeding traits and their use in creation of barley varieties adapted to conditions of Volga-Vyatka region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2017;(3):9–14. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2017.58.3.09-14>
6. Filippov E. G., Bragin R. N., Dontsov D. P. Analysis of adaptability indicators of spring barley varieties and lines in the ecological variety testing. *Tavrisheskiy vestnik agrarnoy nauki* = Taurida herald of the agrarian sciences. 2022;(4(32)): 221–230. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49982577>
7. Zhuchenko A. A. Ways of innovative and adaptive development of the Russian agro-industrial complex in the XXI century. Kirov: *NIISKh Severo-Vostoka*, 2011. 143 p.
8. Shpanev A. M., Fesenko M. A., Smuk V. V. Efficiency of the chemical means complex use for the spring barley cultivation in the North-West Russia. *Agrokimiya*. 2019;(12):47–55. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119120093>
9. Sedyakov M. V. Influence of agrotechnological techniques on economically valuable features of a new promising line of spring barley L-1800. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2021;(1(62)):59–67. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2021-1-59-67>
10. Shpanev A. M. Effect of nitrogen fertilizer doses on the effectiveness of herbicidal treatment in grain crops in the North-West of the Russian Federation. *Agrokimiya*. 2021;(10):74–80. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188121100136>

11. Vladimirov V. P., Gareev I. R., Bizyanov S. Ya. Productivity and quality of barley grain depending on seeding rates and the calculated doses of fertilizers in conditions of forest-steppe of the middle Volga region. *Vestnik Chuvashskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik Chuvash State Agricultural Academy. 2019;(3(10)):21–26. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17022/800m-6792>
12. Talanov I. P., Karimova L. Z. Barley productivity depending on nutrition background and seeding rate. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2019;(3(54)):67–70. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.12737/article_5db95a9da9c1c0.43759300
13. Deriglazova G. M., Lazarev V. I., Minchenko Zh. N. The effectiveness of the main cultivation techniques and methods of spring barley under the conditions of the Central Chernozem region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2023;37(7):34–38. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54674131>
14. Kurkova I. V., Kuznetsova A. S. Influence of seedtime and seed rate on the cropfield of Amur spring barley. *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)* = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2016;(2(39)):17–21. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=wigrvf>
15. Levakova O. V. Responsiveness of a new variety of spring barley Notable to the seeding rate in the Ryazan region. *Agrarnaya nauka* = Agrarian science. 2021;(3):70–73. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-346-3-70-73>
16. Karimova L. Z., Safin R. I., Talanov I. P. Effect of presowing seed treatment and seeding rate on yield formation and incidence of barley by root rot. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2015;(1(29)):21–25. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23887716>
17. Kuzikeev Zh. V., Boradulina V. A., Musalitin G. M., Kuzikeeva A. P. The reaction of barley varieties to seeding rates and the level of nitrogen nutrition in the leached chernozems of Altai Ob region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2020;(7(34)):27–31. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10704>
18. Durnev G. I. Scientific analysis of problems and achievements in the cultivation of agricultural crops in Russia. *Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2007;(3(6)):14–19. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12963826>
19. Polityko P. M., Kiselev E. F., Kapranov V. N., Merzlikin A. S., Posmetnyy R. S., Abramova N. A., Eroshenko L. M., Tabunshchik L. F., Belenikin S. V., Prokopenko A. G., Matyuta S. V., Kondratenko O. P., Fedorishchev V. N., Tareev A. I. Role of mineral fertilizers and plants protection means in the formation of productivity and grain quality of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) varieties cultivated by different technologies at soddy-podsolic soils. *Problemy agrokhimii i ekologii*. 2017;(2):13–18. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29763505>
20. Alekhin V. T., Mikhaylikova V. V., Mikhina N. G. Economic thresholds of harmfulness of pests, diseases and weeds in crops. Moscow: *Rosinformagrotekh*, 2016. 73 p.

Сведения об авторах

✉ **Фесенко Мария Александровна**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Гражданский проспект, 14, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 195220, e-mail: office@agrophys.ru, e-mail: ramylek@yandex.ru

Шпанев Александр Михайлович, доктор биол. наук, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Гражданский проспект, 14, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 195220, e-mail: office@agrophys.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4346-318X>

Information about the authors

✉ **Maria A. Fesenko**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, Agrophysical Research Institute, Grazhdansky pr., 14, Saint-Petersburg, Russian Federation, 195220, e-mail: office@agrophys.ru, e-mail: ramylek@yandex.ru

Alexander M. Shpanev, DSc in Biology, chief researcher, Agrophysical Research Institute, Grazhdansky pr., 14, Saint-Petersburg, Russian Federation, 195220, e-mail: office@agrophys.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4346-318X>

✉ – Для контактов / Corresponding author