

4.1.1. ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО
(СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 631.51

DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_2_13

EDN: CATCJY

**Влияние различных способов основной обработки почвы
и удобрений на засоренность посевов и урожайность ячменя****Анатолий Владимирович Дедов^{1✉}, Вячеслав Анатольевич Шевченко²**¹Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I,
Воронеж, Россия²Воронежский федеральный аграрный научный центр им. В.В. Докучаева,
Таловский район, Воронежская область, Россия¹dedov050@mail.ru[✉]

Аннотация. Представлены результаты исследований, проведенных в 2011–2022 гг. в центре южной части Воронежской области на черноземе обыкновенном с целью изучения влияния различных способов основной обработки почвы на засоренность и урожайность ярового ячменя. Изучали следующие способы обработки почвы: отвальная обработка (вспашка) на глубину 20–22 см – контроль, безотвальная обработка на глубину 20–22 см, поверхностная обработка (дисковое лущение) на глубину 8–10 см, нулевая обработка (прямой посев). Установлено, что максимальное снижение засоренности посевов обеспечивает отвальная вспашка на глубину 20–22 см. Снижение интенсивности основной обработки почвы увеличивало степень засоренности посевов в 1,38–2,34 раза, при этом применение гербицидов позволяет устранять данный негативный эффект приемов минимизации. На момент уборки ячменя доля сорняков в общей биомассе агрофитоценоза ячменя была в пределах 1,5% на контроле и от 1,7 до 2,9% – на фоне приемов минимизации. В условиях Воронежской области на черноземе обыкновенном при ресурсосберегающей обработке почвы для максимального уничтожения сорняков, получения урожая зерна ячменя от 3,68 до 4,08 т/га целесообразно применение гербицидов. При нулевой обработке после уборки предшественника применяли гербицид Торнадо 500, ВР с нормой расхода 2,0 л/га, а в фазе кущения ячменя на всех вариантах опыта – гербицид Балерина, СЭ с нормой расхода 0,4 л/га. Расчет энергетической эффективности показал, что при выращивании ячменя на контроле и на вариантах применения поверхностной и безотвальной обработок коэффициент энергетической эффективности был низким – соответственно 2,28; 2,93 и 2,43 и на варианте применения нулевой обработки – средним – 4,01.

Ключевые слова: способ основной обработки почвы, ячмень, сорные растения, гербициды, урожайность, энергетическая эффективность

Для цитирования: Дедов А.В., Шевченко В.А. Влияние различных способов основной обработки почвы и удобрений на засоренность посевов и урожайность ячменя // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16, № 2(77). С. 13–23. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_2_13–23.

4.1.1. GENERAL SOIL MANAGEMENT AND CROP SCIENCE
(AGRICULTURAL SCIENCES)

Original article

**Effect of various methods of basic tillage and fertilizers
application on the weediness of crops and barley yield****Anatoliy V. Dedov^{1✉}, Vyacheslav A. Shevchenko²**¹Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia²Voronezh Federal Agricultural Scientific Centre named after V.V. Dokuchaev,
Talovsky District, Voronezh Oblast, Russia¹dedov050@mail.ru[✉]

Abstract. The authors present the results of research conducted in 2011–2022 in the center of the southern part of Voronezh Oblast on ordinary chernozem in order to study the effect of various methods of basic tillage on weed infestation and yield of spring barley. The following methods of tillage were studied: moldboard treatment (plowing) to the depth of 20–22 cm – control; non-moldboard treatment to the depth of 20–22 cm; surface tillage (disk treatment) to the depth of 8–10 cm; zero treatment (direct sowing). It has been established that the maximum reduction in weed infestation of crops is provided by moldboard treatment to the depth of 20–22 cm. Reducing the intensity of basic tillage increased the degree of crop infestation by 1.38–2.34 times, while the use of herbicides

allowed eliminating this negative effect of minimization techniques. At the time of harvesting barley the share of weeds in the total biomass of barley agrophytocenosis was within the range of 1.5% in the control variant and from 1.7 to 2.9% against the background of techniques minimization. In the conditions of Voronezh Oblast on ordinary chernozem with resource-saving tillage for maximum weed elimination and obtaining a harvest of barley grain from 3.68 to 4.08 t/ha, it is advisable to use herbicides. With zero treatment after harvesting the first crop, the Tornado 500, WS herbicide was used with the application rate of 2.0 l/ha, and in the phase of tillering barley the Ballerina, SE herbicide was used in all experimental variants with the application rate of 0.4 l/ha. The calculation of energy efficiency showed that when growing barley in the control and in the variants of surface and non-moldboard treatments, the energy efficiency coefficient was low (2.28, 2.93 and 2.43, respectively), and medium (4.01) in the variant of zero treatment.

Keywords: method of basic tillage, weeds, herbicides, barley, yield, energy efficiency

For citation: Dedov A.V., Shevchenko V.A. Effect of various methods of basic tillage and fertilizers application on weed infestation of crops and barley yield. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2023;16(2):13-23. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_2_13-23.

В ведение

Одной из основных зерновых культур севооборотов в Воронежской области является ячмень, при выращивании которого важную роль играет система обработки почвы. На выбор способа основной обработки почвы влияют многие факторы, в том числе метеорологические условия года, наличие техники в хозяйстве, засоренность посевов предшественника и др.

Различные системы основной обработки почвы по-разному влияют на условия жизни не только культурных, но и сорных растений. Особое значение для эффективной борьбы с сорняками имеют глубина обработки и мощность обрабатываемых слоев почвы, потому что именно от них зависит перераспределение семян и вегетативных зачатков в почве, а также их жизнеспособность [14].

Каждый способ основной обработки почвы имеет свои преимущества и недостатки [10], которые по-разному проявляются в отдельные годы. Одни ученые отдают предпочтение вспашке под ячмень [2, 3, 4, 12], другие – плоскорезной [7, 13, 14, 16] или мелкой мульчирующей [5, 9] обработкам.

Для совершенствования технологии возделывания ячменя требуются новые экспериментальные данные по выявлению влияния способов основной обработки почвы на засоренность и продуктивность культуры, поэтому изучение влияния различных способов основной обработки почвы на фоне применения гербицидов для борьбы с сорными растениями в посевах ячменя является актуальным направлением исследований, имеющим важное практическое значение.

Условия и методика проведения исследований

Исследования по изучению влияния различных способов основной обработки почвы на засоренность посевов и урожайность ячменя проводились в 2011–2020 гг. в полевом опыте на базе сельхозпредприятия ЗАО «Павловская Нива», расположенного в центре южной части Воронежской области. Это хозяйство с хорошим материально-техническим оснащением и высокой культурой земледелия. Однако территория его землепользования отличается сложным рельефом, значительная площадь пашни расположена на склонах с неглубоким гумусовым горизонтом и развитыми процессами эрозии, что вызывает необходимость минимизировать обработку почвы.

Цель исследования – разработать наиболее эффективные способы основной обработки почвы с использованием растительных остатков на органические удобрения при возделывании ярового ячменя.

Для достижения поставленной цели был заложен полевой опыт со следующей схемой севооборота: ½ горох, ½ соя – озимая пшеница – ½ кукуруза на зерно, ½ подсолнечник – ячмень.

Схема опыта предусматривала сравнительное изучение различных способов основной обработки почвы под ячмень.

1. Отвальная обработка почвы (вспашка) на глубину 20–22 см.
2. Безотвальная обработка почвы на глубину 20–22 см.
3. Поверхностная обработка почвы (дисковое лушение) на глубину 8–10 см.
4. Нулевая обработка (прямой посев).

При выращивании ячменя вносили различные удобрения по вариантам.

1. Контроль – без удобрений (0).
2. 10 кг д. в. NH_3 на тонну соломы (N).
3. 10 кг д. в. NH_3 на тонну соломы + 80 г/га препарата Стернифаг, СП (N + C).

Стернифаг, СП представляет собой современный эффективный почвенный биологический фунгицид на основе микроскопического гриба *Trichoderma harzianum*, разработан с целью ускорения разложения стерни и соломы злаковых, сои, кукурузы, подсолнечника, а также подавления фитопатогенов на растительных остатках и в почве.

Почвы представлены черноземом обыкновенным среднегумусовым среднемошным, тяжелосуглинистым со следующими агрохимическими показателями (слой 0–30 см):

- содержание гумуса по Тюрину – 6,0%;
- содержание подвижного фосфора – 81 мг/кг почвы, обменного калия – 169 мг/кг почвы;

- $\text{pH}_{\text{КСI}}$ – 6,6;

- гидролитическая кислотность – 1 мг-экв/100 г почвы;

- сумма обменно-поглощенных катионов Са – 28,8 мг-экв/100 г почвы;

- сумма обменно-поглощенных катионов Mg – 2,8 мг-экв/100 г почвы.

Опыт закладывали в трехкратной повторности, размещение делянок – систематическое, размер делянки по обработке почвы – $84 \times 120 = 10\,080 \text{ м}^2$, делянки делили на четыре части (метод расщепленных делянок). Размер делянок второго порядка – $21 \times 120 = 2\,520 \text{ м}^2$, учетной делянки – $6 \times 100 = 600 \text{ м}^2$.

Технология возделывания ячменя сорта Вакула, за исключением изучаемых факторов, была общепринятой для ЦЧР. В систему обработки почвы на первом и втором вариантах, кроме отвальной обработки (вспашки), включали приемы предпосевной и послепосевной обработки, рекомендованные для зоны. На варианте нулевой обработки почвы ячмень высевали по технологии прямого посева специальной сеялкой Fabimag FG-01.

При нулевой обработке почвы после уборки предшественника применяли гербицид Торнадо 500, ВР с нормой расхода 2,0 л/га.

На всех вариантах опыта в фазе кущения ячменя применяли гербицид Балерина, СЭ с нормой расхода 0,4 л/га.

Гидротермические условия вегетационных периодов в 2011–2015, 2017, 2018 и 2020 гг. характеризовались как засушливые ($\text{ГТК} < 1,0$), в 2016, 2019, 2021 и 2022 гг. – как недостаточно увлажненные ($\text{ГТК} = 1,0–1,3$) [1], что оказало влияние на показатели плодородия почвы и урожай зерно ячменя.

Учет засоренности посевов ячменя проводили в два срока – весной в фазе кущения культуры (перед химической прополкой посевов – количественным методом) и перед уборкой (количественно-весовым методом). Подсчет количества и определение видового состава сорных растений выполняли с помощью рамки размером $0,25 \times 0,25 \text{ м}$ в четырехкратной повторности [15].

Учет урожайности проводили поделяночно, методом сплошного обмолота учетной делянки и последующей подработкой с приведением к стандартной влажности и 100% чистоте [11].

Статистическую обработку и дисперсионный анализ полученных экспериментальных данных проводили по методике Б.А. Доспехова [6] с использованием типовых программ ПЭВМ.

Энергетическую эффективность рассчитывали по методике, разработанной сотрудниками Воронежского ГАУ [8].

Результаты и их обсуждение

Подсчет количества сорных растений в начале роста и развития ярового ячменя показал, что во все годы исследования сорный компонент агрофитоценоза ячменя на всех вариантах основной обработки почвы состоял из малолетников (90–96% общего обилия сорняков в посевах). Наиболее распространенными среди них были щирица запрокинутая (*Amaranthus retroflexus* L.), марь белая (*Chenopodium album* L.), горчица полевая (*Sinapis arvensis* L.), щетинники (*Setaria pumila*, *Setaria viridis* L.), гречишка вьюнковая (*Fallopia convolvulus* L.), гречишка развесистая (*Persicaria lapathifolia* L.), подмаренник цепкий (*Galium aparine* L.), пикульник красивый (*Galeopsis speciose* Mill.), латук компасный (*Lactuca serriola* L.), ярутка полевая (*Thlaspi arvense* L.).

Многолетние сорняки были представлены такими корнеотпрысковыми видами, как бодяк полевой (*Cirsium arvense* L.), вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis* L.), осот полевой (*Sonchus arvensis* L.). Корневищный сорняк – пырей ползучий (*Elytrigia repens* L.) – отмечен только на варианте нулевой обработки.

Анализ уровня засоренности малолетними сорняками по вариантам опыта показал (табл. 1), что меньше всего их было на варианте применения отвальной обработки (контроль) – 23,5 шт./м², однако и это количество превышало экономический порог вредности (ЭПВ), который равен 16–20 шт./м².

Дополнительное внесение на фоне отвальной обработки (вспашки) минеральных удобрений повышало засоренность на 12%, совместное внесение минеральных удобрений и препарата Стернифаг – на 7%.

Таблица 1. Засоренность посевов ячменя в начале вегетации в зависимости от способа основной обработки почвы и удобрений, шт./м² (2011–2022 гг.)

Варианты обработки	Удобрения	Сорняки			Среднее по обработке	Отклонение от контроля, %
		малолетние	многолетние	всего		
Отвальная на глубину 20–22 см (контроль)	0	23,5	1,1	24,5	26,4	100
	N	26,4	1,8	28,2		
	N + C	25,2	1,3	26,5		
Безотвальная на глубину 20–22 см	0	22,9	2,0	24,9	32,9	24,5
	N	34,1	3,0	37,1		
	N + C	34,3	2,4	36,7		
Поверхностная на глубину 8–10 см	0	31,9	3,0	34,9	41,6	57,6
	N	42,5	3,2	45,7		
	N + C	40,5	3,7	44,2		
Нулевая (прямой посев)	0	45,2	3,9	49,1	51,6	95,3
	N	47,8	4,2	52,0		
	N + C	48,9	4,7	53,6		

При замене отвальной обработки на безотвальную среднее количество сорняков увеличивалось до 32,9 шт./м², или на 24,5% по сравнению с контролем. Дополнительное внесение на этом фоне минеральных удобрений повышало их количество на 49,0%, совместное внесение минеральных удобрений и препарата Стернифаг – на 48,0%.

При замене отвальной обработки на поверхностную засоренность в среднем повышалась до 41,6 шт./м², или на 57,6% по сравнению с контролем. Дополнительное внесение на этом фоне минеральных удобрений повышало их количество на 31,0%, а совместное внесение минеральных удобрений и препарата Стернифаг – на 26,6%.

При замене отвальной обработки на нулевую среднее количество сорняков увеличивалось до 51,6 шт./м², или на 95,3% по сравнению с контролем. Дополнительное внесение на этом фоне минеральных удобрений повышало их количество на 5,9%, а совместное внесение минеральных удобрений и препарата Стернифаг – на 9,2%.

Во все годы исследований при снижении интенсивности обработки почвы происходит увеличение числа всходов малолетних сорных растений: на вариантах применения безотвальной и поверхностной обработок почвы количество их всходов увеличивалось относительно вспашки в среднем на 21,6 и 53,0%, при этом их численность на данных вариантах опыта превышала ЭПВ.

Сравнительная фитосанитарная оценка изучаемых в опыте приемов минимизации обработки почвы (безотвальная и поверхностная обработки) выявила увеличение как малолетней части сорного компонента, так и многолетней.

Максимальный уровень засоренности посевов ячменя отмечен на варианте применения нулевой обработки почвы. Несмотря на то что технология прямого посева предусматривала двукратное использование на полях гербицидов сплошного действия (осенью во время массового появления пожнивных сорняков и весной до всходов культуры), количество всходов малолетних сорняков на данном варианте опыта превышало их численность на контрольном варианте (вспашка) в среднем в 1,9 раза, а многолетних – в 3,0 раза. Засоренность малолетними и многолетними сорняками на вариантах применения энергосберегающих приемов обработки почвы (безотвальная и поверхностная обработки) в среднем повышалась соответственно на 24,5 и 57,6%.

Таким образом, проведенные исследования показали, что уровень засоренности в посевах ячменя в начале вегетации зависит от способа обработки почвы. Меньшее число сорняков прорастает на варианте отвальной обработки почвы, но при этом засоренность как малолетними однодольными, двудольными и многолетними корнеотпрысковыми сорняками превышала экономический порог вредоносности (ЭПВ), поэтому посеги ячменя подлежали химической прополке.

Изучаемые в опыте энергосберегающие приемы обработки почвы – безотвальная обработка на глубину 20–22 см и поверхностная обработка (дисковое рыхление) на глубину 8–10 см – способствовали увеличению общего уровня засоренности на 24,5–57,6% и требовали обязательного внесения гербицидов.

На варианте нулевой обработки, в связи с концентрацией семян сорняков на поверхности почвы весной, после посева происходит их массовое прорастание. В среднем за 12 лет плотность сорняков на 1 м² на этом варианте увеличивалась по сравнению с контролем в 1,95 раза, относительно безотвальной обработки – в 1,24 и поверхностной обработки – в 1,57 раза.

При нулевой обработке почвы после уборки предшественника применяли гербицид Торнадо 500, ВР с нормой расхода 2,0 л/га.

В фазе кущения ячменя на всех вариантах опыта проводили обработку посевов гербицидом Балерина, СЭ с нормой расхода 0,4 л/га. Эффективность ее проведения оценивалась в межфазный период цветения – созревания культуры, то есть через 40–50 дней после обработки.

Таблица 2. Засоренность посевов ячменя перед уборкой в зависимости от способа основной обработки почвы и удобрений, шт./м² (2011–2022 гг.)

Варианты обработки	Удобрения	Сорняки			Среднее по обработке	Отклонение от контроля, %
		малолетние	многолетние	всего		
Отвальная на глубину 20–22 см (контроль)	0	5,0	0	5,0	5,8	100
	N	5,4	1,1	6,5		
	N + C	5,2	0,8	6,0		
Безотвальная на глубину 20–22 см	0	6,4	1,6	8,0	8,0	38,0
	N	7,3	1,4	8,7		
	N + C	6,2	1,1	7,3		
Поверхностная на глубину 8–10 см	0	7,1	1,9	9,0	10,0	72,4
	N	8,5	2,5	11,0		
	N + C	7,2	2,8	10,0		
Нулевая (прямой посев)	0	8,3	4,1	12,4	13,3	129,3
	N	9,1	4,4	13,5		
	N + C	9,7	4,4	14,1		

Анализ видового состава сорняков показал (табл. 3), что в отличие от начала вегетации основной фон засоренности перед уборкой составляли однолетние злаковые сорняки, на которые гербицид не оказывал никакого действия. При этом следует заметить, что данные виды сорняков, представленные в основном щетинниками, находились в посевах ячменя в нижнем ярусе и не представляли угрозы урожаю культуры. Общий уровень накопления ими воздушно-сухой массы (табл. 3) был несущественным и варьировал по вариантам опыта от 12,8 до 22,0 г/м².

Таблица 3. Накопление сухой биомассы ячменем и сорняками при различных способах основной обработки почвы, удобрений, г/м²

Варианты обработки	Биологическая масса ячменя, г/м ²	Воздушно-сухая масса сорняков, г/м ²			Процент сорняков в общей биомассе
		малолетние	многолетние	всего	
Отвальная на глубину 20–22 см (контроль)	820	12,1	0,7	12,8	1,5
Безотвальная на глубину 20–22 см	849	12,7	2,2	14,9	1,7
Поверхностная на глубину 8–10 см	801	15,4	3,1	18,5	2,3
Нулевая (прямой посев)	730	16,8	5,2	22,0	2,9

При оценке динамики численности многолетних сорняков было отмечено, что их общая плотность (табл. 3) не изменялась относительно предыдущего срока учета и сохранялась практически на прежнем уровне и в той же зависимости. Также проведенные наблюдения показали, что данные экземпляры сорняков отрастали уже после химической прополки, когда растения ячменя накапливали значительную биомассу: в этот период они были уже хорошо развиты, поэтому могли успешно конкурировать с сорняками и подавлять их ценотически.

Таким образом, даже на варианте нулевой обработки общая воздушно-сухая масса многолетних сорных растений в среднем за три года не превышала 5,2 г/м². Однако, несмотря на незначительную биомассу, данные растения продолжали развиваться, поэтому в условиях минимизации основной обработки почвы необходимо в послеуборочный период уделять особое внимание численности многолетних сорняков.

В целом химическая прополка посевов ячменя на всех вариантах опыта вне зависимости от начального уровня засоренности посевов обеспечивала высокий биологический эффект, снижая число и массу сорняков в его посевах до хозяйственно неощутимых размеров. Из группы малолетних однодольных сорняков на посевах ячменя в первоначальном периоде наблюдения преобладал щетинник зеленый (*Setaria viridis* (L.) P. Beauv.). В четырехпольном севообороте, начиная с ротации 2, на вариантах применения поверхностной и нулевой обработок почвы стали появляться овсюг обыкновенный (*Avena fatua* L.) и эгилопс цилиндрический (*Aegilops cylindrica* Host), причем эгилопс за последние 3 года удвоил свою численность. По наблюдениям агрономов, этот сорняк появился на территории области недавно в связи с широким распространением сортов озимой пшеницы краснодарской селекции. Распространению способствуют высокие дозы азотных удобрений, внесение измельченной соломы на удобрение, переход к использованию приемов минимальной обработки почвы, в том числе технологии No-till, применение которых, при всех их положительных почво- и ресурсосберегающих характеристиках, приводит к значительному ухудшению фитосанитарной обстановки, особенно в первые годы.

Из группы малолетних двудольных сорняков присутствуют щирица запрокинутая (*Amaranthus retroflexus* L.), щирица жминдовидная (*Amaranthus blitoides* S. Wats.), лебеда раскидистая (*Atriplex tatarica* L.), марь белая (*Chenopodium album* L.), горчица полевая (*Sinapis arvensis* L.), дурнишник калифорнийский (*Xanthium strumarium* L.). Численность этой группы сорняков за период проведения исследований варьировала незначительно. Основные изменения напрямую зависели от климатических особенностей года.

Из группы зимующих сорняков учитывались следующие: латук дикий (*Lactuca serriola* L.), пастушья сумка (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.), подмаренник цепкий (*Galium aparine* L.), фиалка полевая (*Viola arvensis* Murray), ярутка пронзённолистная (*Thlaspi perfoliatum* L.).

Из многолетних сорняков отмечены латук татарский (*Lactuca tatarica* (L.) C.A. Mey), полынь горькая (*Artemisia vulgaris* L.), свиной пальчатый (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.), вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis* L.), бодяк полевой (*Cirsium arvense* L.), молочай лозный (*Euphorbia virgata* Waldst. & Kit.). Необходимо отметить, что при поверхностной и нулевой обработках почвы увеличивалась численность полыни горькой (*Artemisia vulgaris* L.) и молочая лозного (*Euphorbia virgata* Waldst. & Kit.).

Таким образом, снижение интенсивности обработки почвы приводит к увеличению засоренности посевов, но применение современных высокоизбирательных гербицидов позволяет без ущерба устранять данное негативное проявление приемов минимизации. Полученные данные показывают, что на момент уборки культуры доля сорняков в общей биомассе агрофитоценоза ячменя находилась в пределах 1,5–2,9% на вариантах применения отвальной (контроль) и нулевой обработок.

Главным критерием эффективности выращивания сельскохозяйственных культур при различных обработках почвы является снижение затрат энергии на производство продукции. Современное сельскохозяйственное производство потребляет значительное количество техногенной энергии. По оценкам ученых [8], доля агропромышленного комплекса в энергобюджете различных стран составляет от 5 до 28–40%. Необходимость все возрастающего увеличения производства сельскохозяйственной продукции вынуждает вкладывать в сельское хозяйство с каждым годом все больше и больше энергии, хотя рост производства сельскохозяйственной продукции далеко не всегда адекватен затратам.

Для более объективной оценки эффективности возделывания ячменя при различных способах обработки почвы рассчитывают энергетическую эффективность. Экономическая оценка может быть ошибочной, так как она зависит от конъюнктурных цен на сырье. Расчет энергетической эффективности возделывания сельскохозяйственных культур дает возможность получить более объективную информацию.

Критерием биоэнергетической оценки агротехнологий возделывания ячменя является коэффициент энергетической эффективности, который рассчитывают как отношение выхода энергии с урожаем основной продукции к затратам энергии на ее возделывание. Если этот коэффициент меньше 1,0, то энергетическая эффективность отсутствует, если находится в интервале 1–3 – низкая, 3–5 – средняя, 5–10 – высокая [8].

При определении энергетической эффективности изучаемых приемов использовали методические разработки сотрудников Воронежского ГАУ [8].

Как показали выполненные расчеты (табл. 4), при выращивании ячменя на фоне отвальной обработки на глубину 20–22 см затраты техногенной энергии были 4,8 ГДж/га.

Таблица 4. Эффективность затрат энергии на выращивание ячменя в зависимости от способов основной обработки почвы, внесения удобрений и препарата Стернифог (в среднем за 2011–2022 гг.)

Варианты обработки	Удобрения	Урожайность ячменя, т/га	Затраты техногенной энергии, ГДж/га	Выход энергии, ГДж/га		Коэффициент энергетической эффективности (КЭЭ)
				с нетоварной частью	с урожаем основной продукции	
Отвальная на глубину 20–22 см (контроль)	0	4,24	4,8	3,33	7,63	2,28
	N	4,41	4,9	3,46	7,93	2,32
	N + C	3,66	4,9	2,87	6,59	1,93
Безотвальная на глубину 20–22 см	0	3,77	4,0	2,96	6,79	2,43
	N	3,93	4,1	3,08	7,07	2,48
	N + C	3,68	4,1	2,89	6,62	2,32
Поверхностная на глубину 8–10 см	0	4,08	3,6	3,20	7,34	2,93
	N	4,08	3,8	3,20	7,34	2,77
	N + C	3,63	3,8	2,85	6,53	2,47
Нулевая (прямой посев)	0	4,19	2,7	3,29	7,54	4,01
	N	4,30	2,8	3,37	7,74	3,96
	N + C	3,61	2,8	2,84	6,50	3,34

Примечание: энергоёмкость основной продукции – 1,8 ГДж; побочной – 0,785 ГДж.

На вариантах применения безотвальной, поверхностной и нулевой обработок затраты техногенной энергии снижались соответственно на 0,8, 1,2 и 2,1 ГДж/га.

При выращивании ячменя на фоне отвальной обработки коэффициент энергетической эффективности составил 2,28. На варианте безотвальной обработки при сниже-

нии урожайности ячменя на 0,47 т/га отмечено увеличение коэффициента энергетической эффективности на 0,15 за счет снижения энергозатрат на 0,8 ГДж/га.

На варианте поверхностной обработки при снижении урожайности ячменя на 0,16 т/га отмечено увеличение коэффициента энергетической эффективности на 0,65 за счет снижения энергозатрат на 1,2 ГДж/га.

Аналогичная зависимость отмечена при нулевой обработке: при несущественном снижении урожайности ячменя (на 0,05 т/га) КЭЭ увеличился на 1,73 по сравнению с контролем за счет снижения затрат энергии на 2,1 ГДж/га.

Эффективность способов основной обработки варьировала в зависимости от применения минеральных удобрений, препарата Стернифаг и гербицидов. При применении минеральных удобрений и гербицидов наибольший урожай получен на варианте отвальной обработки – 4,41 т/га (КЭЭ = 2,32). Приемы минимизации (поверхностная и безотвальная обработки) снижали урожай зерна на 0,33–0,48 т/га при КЭЭ = 2,77 и КЭЭ = 2,48 соответственно, в то время как на варианте нулевой обработки урожайность ячменя была 4,30 т/га при КЭЭ = 3,96.

Дополнительное внесение на фоне минеральных удобрений препарата Стернифаг позволило получить на контроле 3,66 т/га зерна ячменя при КЭЭ = 1,93. Приемы минимизации (поверхностная, безотвальная и нулевая обработки) обеспечивали урожайность ячменя на уровне контроля при разных значениях КЭЭ – соответственно 2,47; 2,32 и 3,34.

Анализ энергозатрат показал, что при выращивании ячменя на фоне отвальной обработки (контроль) и на вариантах применения безотвальной и поверхностной обработок коэффициент энергетической эффективности имел низкие значения и составлял соответственно 2,28; 2,43 и 2,93. На варианте применения нулевой обработки коэффициент энергетической эффективности имел низкие значения и составлял 4,01.

Выводы

Исследования, проведенные в 2011–2022 гг. на черноземе обыкновенном в условиях Воронежской области, позволили выявить лучший способ основной обработки почвы под ячмень в сочетании с гербицидами для борьбы с сорняками в посевах этой культуры в период вегетации.

Минимальная засоренность посевов ячменя отмечена при применении отвальной обработки почвы (вспашка) на глубину 20–22 см. Снижение интенсивности обработки почвы приводит к увеличению засоренности посевов в 1,38–2,34 раза, при этом применение гербицидов позволяет без ущерба устранять данный негативный эффект приемов минимизации: на момент уборки ячменя доля сорняков в общей биомассе агрофитоценоза ячменя находилась на уровне 1,5% на контроле, а на фоне приемов минимизации варьировала от 1,7 до 2,9%.

В условиях Воронежской области на черноземе обыкновенном при ресурсосберегающей обработке почвы для максимального уничтожения сорняков, получения урожая зерна ячменя от 3,68 до 4,08 т/га целесообразно применение гербицидов. При нулевой обработке после уборки предшественника применяли гербицид Торнадо 500, ВР с нормой расхода 2,0 л/га, а в фазе кущения ячменя на всех вариантах опыта – гербицид Балерина, СЭ с нормой расхода 0,4 л/га.

На варианте применения отвальной обработки почвы урожайность ячменя составила 4,24 т/га. При применении безотвальной, поверхностной и нулевой обработок урожай зерна снижался соответственно на 0,47 т/га, 0,16 и 0,05 т/га.

При выращивании ячменя на фоне отвальной обработки (контроль) и на вариантах применения безотвальной и поверхностной обработок коэффициент энергетической эффективности в среднем был низким и составлял соответственно 2,28; 2,43 и 2,93, а на варианте применения нулевой обработки – средним (4,01).

Список источников

1. Агrometeorologicheskie бюллетени по Воронежской области за 2011–2020 годы [Электронный ресурс] // Воронежский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, филиал Центрально-Черноземного управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. URL: <https://www.meteorf.gov.ru/activity/gidrometeo/> (дата обращения: 02.03.2022).
2. Беседин Н.В., Митина Н.П., Чернышева Н.М. Ресурсосберегающие приемы основной обработки почвы в севооборотах Центрального Черноземья // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2009. № 3(58). С. 124–126.
3. Борин А.А., Лошчинина А.Э. Технологии возделывания полевых культур при уменьшении интенсивности воздействия на почву // Инновационные направления интеграции науки, образования и производства: сборник тезисов докладов участников II международной научно-практической конференции (Керчь, 19–23 мая 2021 г.). Керчь: ФГБОУ ВО Керченский государственный морской технологический университет, 2021. С. 74–77.
4. Гармашов В.М., Корнилов И.М., Нужная Н.А. Урожайность и качество ярового ячменя на фоне различных по интенсивности обработок // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 3(35). С. 121–127.
5. Денисов Е.П., Солодовников А.П., Четвериков Ф.П. и др. Влияние приемов минимизации обработки почвы и применения гербицидов на продуктивность ячменя в Поволжье // Нива Поволжья. 2013. № 1(26). С. 7–11.
6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебное пособие. 5-е изд., доп. и перераб. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
7. Дубовик Е.В., Дубовик Д.В., Морозов А.Н., Шумаков А.В. Минимизация основной обработки почвы в условиях Курской области // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 8. С. 49–54. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_8_49.
8. Зезюков Н.И., Придворев Н.И., Дедов А.В. Методические указания по расчету энергетической эффективности агротехнологий с использованием ПЭВМ. Воронеж: Воронежский ГАУ, 1993. 45 с.
9. Каргин В.И., Немцев С.Н., Мандров Н.П., Перов Н.А. Система основной обработки выщелоченного чернозема // Достижения науки и техники АПК. 2007. № 4. С. 44–45.
10. Кирюшин В.И. Минимизация обработки почвы: перспективы и противоречия // Земледелие. 2006. № 5. С. 11–14.
11. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск второй. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. Москва: Калининская областная типография, 1989. 194 с.
12. Плещачев Ю.Н., Борисенко И.Б., Мисюржев И.А. и др. Инновационные способы обработки почв при возделывании ячменя // Плодородие. 2012. № 6. С. 18.
13. Трофимова Т.А. Приемы основной обработки деградированных почв ЦЧР // Агротехнологии XXI века: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 105-летию Воронежского государственного аграрного университета (Воронеж, 25–27 апреля 2017 г.). Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. С. 6–14.
14. Турусов В.И., Корнилов И.М., Нужная Н.А. Фитосанитарное состояние посевов на различных элементах агроландшафта // Земледелие. 2011. № 5. С. 41–42.
15. Фисюнов А.В., Воробьев Н.Е., Матюха Л.А. Методические рекомендации по учету и картированию засоренности посевов; под общей ред. д-ра с.-х. наук А.В. Фисюнова. Днепропетровск: [б. и.], 1974. 71 с.
16. Шабалкин А.В., Воронцов В.А., Скорочкин Ю.П. Эффективность различных способов основной обработки почвы и средств интенсификации в борьбе с засоренностью посевов ячменя // Зернобобовые и крупяные культуры. 2019. № 2(30). С. 139–144. DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11104.

References

1. Agrometeorologicheskie byulleteni po Voronezhskoj oblasti za 2011-2020 gody. Voronezhskij centr po gidrometeorologii i monitoringu okružhayushchej sredy, filial Tsentral'no-Chernozemnogo upravleniya po gidrometeorologii i monitoringu okružhayushchej sredy [Agrometeorological bulletins for Voronezh Oblast. 2011-2020. Voronezh Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, branch of the Central Chernozem Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring]. URL: <https://www.meteorf.gov.ru/activity/gidrometeo/>. (In Russ.).
2. Besedin N.V., Mitina N.P., Chernysheva N.M. Resursosberegayushchie priemy osnovnoj obrabotki pochvy v sevooborotakh Tsentral'nogo Chernozem'ya [Main resource saving tillage techniques in crop rotation of the Central Chernozem Region]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki = Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences*. 2009;3(58):124-126. (In Russ.).
3. Borin A.A., Loshchinina A.E. Tekhnologii vzdelyvaniya polevykh kul'tur pri umen'shenii intensivnosti vozdejstviya na pochvu [Technologies of cultivation of field crops in reducing the intensity of the impact on the soil]. *Innovatsionnye napravleniya integratsii nauki, obrazovaniya i proizvodstva: sbornik tezisev dokladov uchastnikov II mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii (Kerch', 19-23 maya 2021 g.)* [Innovative directions of integration of science, education and production: Collection of abstracts of participants of the II International Research-to-Practice Conference (Kerch, May 19-23, 2021)]. Kerch: Kerch State Maritime Technological University Press; 2021:74-77. (In Russ.).

4. Garmashov V.M., Kornilov I.M., Nuzhnaya N.A. Urozhajnost' i kachestvo yarovogo yachmenya na fone razlichnykh po intensivnosti obrabotok [Productivity and quality of summer barley on the background of various intensity of soil tillage]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury = Legumes and Groat Crops*. 2020;3(35):121-127. (In Russ.).
5. Denisov E.P., Solodovnikov A.P., Chetverikov F.P. et al. Vliyanie priemov minimizatsii obrabotki pochvy i primeneniya gerbitsidov na produktivnost' yachmenya v Povolzh'e [The influence of minimum soil treatment and herbicides application methods on barley crop productivity in Volga area]. *Niva Povolzhya = Volga Region Farmland*. 2013;1(26):7-11. (In Russ.).
6. Dospikhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy): uchebnoe posobie. 5-e izd., dop. i pererab. [Field-plot Technique (with the Basics of Statistical Processing of Results of Research and Experiments): study guide. 5th edition, revised and enlarged]. Moscow: Agropromizdat Press; 1985. 351 p. (In Russ.).
7. Dubovik E.V., Dubovik D.V., Morozov A.N. et al. Minimizatsiya osnovnoy obrabotki pochvy v usloviyakh Kurskoj oblasti [Main tillage minimization under the conditions of Kursk Oblast]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology in AIC*. 2022;36(8):49-54. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_8_49. (In Russ.).
8. Zezyukov N.I., Pridvoren N.I., Dedov A.V. Metodicheskie ukazaniya po raschetu energeticheskoy effektivnosti agrotekhnologiy s ispol'zovaniem PEVM [Methodological guidelines for calculating the energy efficiency of agricultural technologies using PC]. Voronezh: Voronezh State Agrarian University Press; 1993. 45 p. (In Russ.).
9. Kargin V.I., Nemtsev S.N., Mandrov N.P. et al. Sistema osnovnoy obrabotki vyshchelochennogo chernozema [System of basic treatment of leached chernozem]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology in AIC*. 2007;4:44-45. (In Russ.).
10. Kiryushin V.I. Minimizatsiya obrabotki pochvy: perspektivy i protivorechiya [Minimum tillage: prospects and contradictions]. *Zemledelie = Zemledelie*. 2006;5:11-14. (In Russ.).
11. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyajstvennykh kul'tur. Vypusk vtoroj. Zernovye, krupyanye, zernobobovye, kukuruza i kornovye kul'tury [Methodology of state variety testing of agricultural crops. Issue two. Cereals, groats, legumes, corn and fodder crops]. Moscow: Kalinin Regional Printing House; 1989. 194 p. (In Russ.).
12. Pleskachev Yu.N., Borisenko I.B., Misyuryaev I.A. et al. Innovatsionnye sposoby obrabotki pochv pri vozdel'nyanii yachmenya [Innovative tillage practices for barley growing]. *Plodородie = Plodородie*. 2012;6:18. (In Russ.).
13. Trofimova T.A. Priemy osnovnoy obrabotki degradirovannykh pochv CChR [Methods of basic cultivation of degraded soils of the Central Chernozem Region]. Agrotekhnologii XXI veka: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoj 105-letiyu Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Voronezh, 25-27 aprelya 2017 g.) [Agrotechnologies of the XXI century: Proceedings of the International Research-to-Practice Conference dedicated to the 105th anniversary of Voronezh State Agrarian University (Voronezh, April 25-27, 2017)]. Voronezh: Voronezh State Agrarian University Press; 2017:6-14. (In Russ.).
14. Turusov V.I., Kornilov I.M., Nuzhnaya N.A. Fitosanitarnoe sostoyanie posevov na razlichnykh elementakh agrolandshafta [Phytosanitary condition of sowings at different elements of agricultural landscape]. *Zemledelie = Zemledelie*. 2011;5:41-42. (In Russ.).
15. Fisyunov A.V., Vorobiev N.E., Matyukha L.A. Metodicheskie rekomendatsii po uchetu i kartirovaniyu zasorennosti posevov; pod obshchej redaktsiej doktora sel'skokhozyastvennykh nauk A.V. Fisyunova [Methodological recommendations on accounting and mapping of crop contamination; under the general editorship of Doctor of Agricultural Sciences A.V. Fisyunov]. Dnepropetrovsk: [Sine Loci I.]; 1974. 71 p. (In Russ.).
16. Shabalkin A.V., Vorontsov V.A., Skorochkin Yu.P. Effektivnost' razlichnykh sposobov osnovnoy obrabotki pochvy i sredstv intensivifikatsii v bor'be s zasorennost'yu posevov yachmenya [The efficiency of different methods of primary tillage and means of intensification in the fight against contamination of crops of barley]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury = Legumes and Groat Crops*. 2019;2(30):139-144. DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11104. (In Russ.).

Информация об авторах

А.В. Дедов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры земледелия, растениеводства и защиты растений ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», dedov050@mail.ru.

В.А. Шевченко – аспирант, ФГБНУ «Воронежский федеральный аграрный научный центр им. В.В. Докучаева», shevchenko_agro@mail.ru.

Information about the authors

A.V. Dedov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Soil Management, Crop Science and Plant Protection, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, dedov050@mail.ru.

V.A. Shevchenko, Postgraduate Student, Voronezh Federal Agricultural Scientific Centre named after V.V. Dokuchaev, shevchenko_agro@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 20.02.2023; одобрена после рецензирования 22.03.2023; принята к публикации 28.03.2023.

The article was submitted 20.02.2023; approved after reviewing 22.03.2023; accepted for publication 28.03.2023.

© Дедов А.В., Шевченко В.А., 2023