УДК633.16:631.582: 631.51:631.82

УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ПРИ МИНИМИЗАЦИИ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ В УСЛОВИЯХ ЦЧР

НИТЧЕНКО Л.Б.,

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории адаптивных агротехнологий и средств их механизации ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр» - ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии, e-mail: Nitchenko58@yandex.ru, тел. 8-908-121-06-70.

Реферат. Целью исследований являлось изучение влияния местоположения в рельефе, севооборотов, способов обработки почвы и доз внесения удобрений на урожайность и качество зерна ярового ячменя. Установлено, что урожайность ячменя в зернопаропропашном севообороте на водораздельном плато в среднем составила 3,33 т/га, на склоне северной экспозиции – 2,62 т/га, на склоне южной экспозиции – 2,77 т/га; в зернотравянопропашном севообороте на водораздельном плато – 3,27 т/га, на склоне северной экспозиции - 2,43 т/га. Основным фактором, влияющим на повышение урожайности, содержания белка в зерне и натуры зерна, ячменя являются минеральные удобрения. Более высокие прибавки урожайности ячменя и окупаемость удобрений получены в зернопаропропашном севообороте на склоне северной экспозиции: при внесении $N_{30}P_{30}K_{30}$ - 0,56 – 0,81 т/га и 6,2 – 9,0 кг зерна на 1 кг д.в. удобрений; при внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$ - 0,89 – 1,13 т/га и 4,9 и 6,3 кг зерна на 1 кг д.в. удобрений, соответственно. Содержание белка в зерне ячменя в зернопаропропашном севообороте на водораздельном плато составило 13,3 %, на склоне северной экспозиции – 11,8 %, на склоне южной экспозиции – 12,8 %; в зернотравянопропашном на водораздельном плато - 13,9 %, на склоне северной экспозиции - 11,8 %; натура зерна - 636 г/л, 608 г/л, 620 г/л; 642 г/л, 606 г/л, соответственно. При минимизации обработок почвы содержание белка и натура зерна ячменя в большинстве случаев существенно не изменялись. Применение поверхностной и безотвальной обработок почвы при возделывании ячменя способствует снижению затрат, по сравнению с отвальной обработкой. При их применении на водораздельном плато происходит снижение урожайности ячменя на уровне тенденции, вследствие чего значительного уменьшения выручки не наблюдается. Наиболее высокая рентабельность и коэффициент энергетической эффективности получены при безотвальной обработке почвы при внесении $N_{30}P_{30}K_{30}$ – 55,2 % и 5,2 единиц, соответственно. Применение поверхностной обработки почвы эффективнее при внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$, рентабельность при этом составляет 47,6 %.

Ключевые слова: яровой ячмень, урожайность, качество зерна, местоположение в рельефе, способы обработки почвы, дозы минеральных удобрений, окупаемость удобрений, экономическая эффективность, энергетическая эффективность.

SPRING BARLEY GRAIN YIELD AND QUALITY ON MINIMIZING AGROTECHNOLOGICAL PRACTICES IN CENTRAL CHERNOZEM REGION

NITCHENKO L.B.,

candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, the Laboratory of Adaptive Agricultural Technologies and Mechanization Facilities of FSBSI “Kursk Federal Agricultural Research Center” – All-Russia Research Institute of Arable Farming and Soil Erosion Control, e-mail: Nitchenko58@yandex.ru, tel. 8-908-121-06-70.

Essay. The aim of the research was to study the influence of the location in the relief, crop rotations, tillage methods and applied fertilizer rates on the yield and quality of spring barley grain. It is determined that the barley yield in the cereal-fallow-row crop rotation (C-F-RC rotation) on the watershed plateau was 3.33 t/ha on the average, 2.62 t/ha on the slope of northern exposure, 2.77 t/ha on the slope of southern exposure; in the cereal-grass-row crop rotation (C-G-RC rotation) on the watershed plateau it was 3.27 t/ha, on the slope of northern exposure it was 2.43 t/ha. The main factor influencing the increase in yield, protein content in grain and natural weight of barley grain are mineral fertilizers.

Higher barley yield gains and fertilizer paybacks are obtained in the C-F-RC rotation on the slope of northern exposure: 0.56-0.81 t/ha when applying N30P30K30 and 6.2-9.0 kg of grain per 1 kg of primary nutrient of fertilizers; 0.89-1.13 t/ha when applying N60P60K60 and 4.9 and 6.3 kg of grain per 1 kg of primary nutrient of fertilizers, respectively. The protein content in the barley grain in the C-F-RC rotation on the watershed plateau was 13.3 %, 11.8 % on the slope of northern exposure; natural weight of the grain was 636 g/l, 608 g/l, 620 g/l; 642 g/l, 606 g/l, respectively. On tillage minimizing the barley protein content and natural weight of the grain mostly did not change. The application of surface and boardless tillage in barley cultivation contributes to lower expenditures as compared with moldboard tillage. When the former tillage methods are applied on the watershed plateau the barley yield is decreased at the level of tendency in consequence of which significant decrease in the revenue is not observed. The highest profitability and energy efficiency coefficient are obtained with boardless tillage and N30P30K30 application, i.e. 55.2 % and 5.2 points, respectively. The use of surface tillage is more efficient with N60P60K60 application, while the profitability is 47.6 %.

Keywords: spring barley, yield, grain quality, location in the relief, tillage methods, mineral fertilizer rates, fertilizer payback, economic efficiency, energy efficiency.

Введение. Основной задачей сельскохозяйственного производства является увеличение валовых сборов зерна, при этом важное значение имеет улучшение его качественных показателей. Увеличение стоимости горюче-смазочных материалов, удобрений, химических средств защиты растений заставляют земледельцев искать способы снижения производственных затрат при возделывании сельскохозяйственных культур. Снижение затрат, повышение рентабельности при производстве зерна ярового ячменя возможно при минимизации применяемых агротехнических и химических ресурсов. Наибольшему снижению производственных затрат способствует отказ от наиболее энергоёмкого приёма основной обработки почвы – вспашки и рациональное применение минеральных удобрений.

Урожайность и качество зерна зависят от многих факторов. Для сельскохозяйственного производства важно установить, какие именно факторы определяют формирование урожайности и качества получаемой продукции.

По данным, полученным ранее в многофакторном опыте [1,2], эффективность минеральных удобрений в формировании урожайности ярового ячменя составляет 25-80 %, расположения посевов в рельефе – 26-70 %, севооборота – 12-30 %, основной обработки почвы – 0-10 %. В формировании качества зерна ячменя роль севооборота составляет 60-90 %, расположения посевов в рельефе – 55-76 %, минеральных удобрений – 16-35 %, основной обработки почвы – 0-3 %. При этом внесение минеральных удобрений эффективнее на склонах, по сравнению с водораздельным плато. Зерно ячменя лучшего качества формируется на водораздельном плато. В сево-

оборотах с многолетними травами качество полученного зерна ухудшается.

Результаты исследований, проведенных в почвенно-климатических условиях ЦЧЗ [3], показали, что применение безотвальных обработок почвы снижает продуктивность ячменя, по сравнению со вспашкой, как при внесении удобрений (N₆₀P₆₀K₆₀), так и без них. Минимизация обработки почвы под ячмень позволяет уменьшить затраты на обработку и сократить сроки ее проведения.

По мнению Турусова В.И. и соавторов [4], безотвальная и поверхностная обработки почвы в годы с типичными для зоны погодными условиями снижают урожайность ячменя, а в годы с количеством осадков выше средних многолетних значений различия в урожайности незначительные. По поверхностной обработке затраты на возделывание и уборку ячменя меньше, однако и совокупной энергии накапливается меньше. Прибавка от удобрений не всегда восполняет затраты на их применение.

Другие исследователи [5, 6] утверждают, что способы основной обработки почвы на чернозёмных почвах не оказывают существенного влияния на урожайность ячменя, поэтому преимущество остаётся за энергосберегающими обработками.

По данным Гулидовой В.А. [7], оптимальной обработкой под ячмень после кукурузы является обработка плугом со стойками СибИМЭ в системе комбинированной безотвальной обработки. Прибавка зерна составила 2,2 ц/га,

по сравнению со вспашкой, при этом снижался коэффициент энергоёмкости на 25 %, расход горючего - на 23,4 %, затраты труда – на 31,4 %. Экономия затрат сопровождалась

одновременно ростом валовой энергии в урожае. Наибольшие затраты совокупной энергии были при обработке почвы плугом.

По мнению ученых Белгородского ФАНЦ [8], чтобы получать стабильную урожайность ячменя (4,0-4,4 т/га) в зернопропашном севообороте, рекомендуется применять минеральные удобрения в дозе $N_{50}P_{50}K_{50}$ с использованием энергосберегающих обработок почвы. Чистый доход при этом достигает 11221-13213 руб./га, а окупаемость 1 кг удобрений – 8,7-10,0 кг зерна.

Исследования Пыхтина И.Г. и соавторов [9] показали, что способы основной обработки почвы не оказывают существенного влияния на основные качественные показатели зерна ячменя.

Однако известны результаты исследований [10], в которых зерно ячменя, отвечающее пивоваренным стандартам, в различные по метеоусловиям годы, формировалось в основном на фоне безотвальной обработки почвы. Большой прирост белка в зерне ячменя от минеральных удобрений установлен в годы с недостаточным увлажнением, причем эффект снижался от зернопаропропашного севооборота к зернотравяному.

За две ротации севооборота, по данным исследований Никитина В.В. и соавторов [11], имело место увеличение урожайности ячменя с повышением доз минеральных удобрений, внесенных под свеклу с 120 до 300 кг/га. Минеральные удобрения в своем последствии ухудшали пивоваренные качества зерна ячменя по мере увеличения дозы.

По данным исследований Пасынкова А.В. и соавторов [12], содержание сырого белка в зерне ячменя находилось в пределах 8,3-16,7 % и возрастало с увеличением доз минеральных удобрений. Необходимо отметить, что при внесении $N_{90}P_{90}K_{90}$ и более зерно ячменя по содержанию белка не соответствовало требованиям для пивоварения.

Материал и методика исследования. Исследования проводились в многолетнем стационарном многофакторном полевом опыте ФГБНУ «Курский ФАНЦ» - ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии, заложенном в 1984 году. В зернопаропропашном севообороте (чистый пар - озимая пшеница - кукуруза на зеленый корм - ячмень) и зернотравянопропашном (многолетние травы – озимая пшеница - кукуруза на зеленый корм – ячмень) на водораздельном плато, склонах северной и южной экспозиций изучались и сравнивались 3 способа основной обработки поч-

вы: отвальная, безотвальная и поверхностная (в системе комбинированной обработки почвы в севообороте) в вариантах: без внесения удобрений, с внесением одинарной ($N_{30}P_{30}K_{30}$) и двойной доз минеральных удобрений ($N_{60}P_{60}K_{60}$). Глубина отвальной и безотвальной обработок почвы 20-22 см, поверхностной – 8-10 см. Площадь делянок 280 м², размещение делянок рендомизированное, повторность – двукратная. Учет урожайности проводили методом прямой механизированной уборки. Экспериментальные данные обрабатывались методом дисперсионного и регрессионного анализов [13]. Экономические и энергетические показатели определяли по общепринятым методикам [14, 15].

Почвы опытного участка представлены черноземом типичным с содержанием гумуса в слое 0-20 см на водоразделе – 6,6 %, на склоне северной экспозиции – 6,5 %, на склоне южной экспозиции – 5,2 %.

Погодные условия для формирования урожайности ячменя в годы исследований (1986 – 2016 гг.) были различными по температурному режиму и количеству выпавших осадков. Вегетация ячменя в 1990 году проходила в условиях избыточного увлажнения (ГТК= 1,77), в 1986, 1994, 1998, 2002, 2006, 2014 и 2018 годах – в условиях недостаточного увлажнения (ГТК=1,30; 1,23; 1,12; 1,20; 1,03; 1,18 и 1,29, соответственно), в 2010 году – в сильно засушливых условиях (ГТК=0,31).

Результаты исследования. Урожайность сельскохозяйственных культур является интегральным показателем оценки изучаемых факторов.

Результаты многолетних исследований показали, что урожайность ярового ячменя (таблица 1) в зернопаропропашном севообороте на водораздельном плато в среднем была выше на 0,71 т/га, по сравнению со склоном северной экспозиции и на 0,56 т/га, по сравнению со склоном южной экспозиции. Наибольшей урожайность ярового ячменя была получена на водораздельном плато при отвальной обработке почвы – 3,15 т/га (вариант без удобрений), 3,54 т/га ($N_{30}P_{30}K_{30}$), 3,71 т/га ($N_{60}P_{60}K_{60}$). Наиболее низкой урожайность ярового ячменя была при безотвальной обработке почвы на склоне северной экспозиции – 1,83 т/га (вариант без удобрений), 2,57 т/га ($N_{30}P_{30}K_{30}$), 2,96 т/га ($N_{60}P_{60}K_{60}$).

Урожайность ярового ячменя на водораздельном плато варьировала от 2,97 т/га до 3,71 т/га. При безотвальной обработке почвы наблюдалась тенденция снижения урожайно-

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, РАСТЕНИЕВОДСТВО

сти ячменя как в варианте без удобрений, так и в удобренных вариантах. При поверхностной обработке при дозе удобрений $N_{30}P_{30}K_{30}$ снижение урожайности было значимо и составило 0,45 т/га (при $НСР_{05} = 0,24$ т/га), по сравнению с отвальной обработкой почвы.

На склоне северной экспозиции урожайность ярового ячменя изменялась от 1,83 т/га до 3,14 т/га и достоверно снижалась (при $НСР_{05} = 0,24$ т/га) при безотвальной обработке почвы в варианте без удобрений и при внесении одинарной дозы минеральных удобрений,

соответственно, на 0,42 т/га и 0,49 т/га и при поверхностной обработке почвы - при внесении одинарной дозы удобрений – на 0,40 т/га, по сравнению с отвальной обработкой.

На склоне южной экспозиции урожайность ярового ячменя варьировала от 2,25 т/га до 3,44 т/га и достоверно снижалась (при $НСР_{05} = 0,26$ т/га) при безотвальной на 0,32 т/га и поверхностной обработках почвы – на 0,32 т/га и 0,30 т/га, соответственно, при внесении двойной дозы удобрений, по сравнению с аналогичным вариантом при отвальной обработке почвы.

Таблица 1 – Урожайность ярового ячменя и окупаемость удобрений в зависимости от обработок почвы и доз удобрений в зернопаропропашном севообороте (средняя 1986-2018 гг.)

Система обра- ботки почвы в севообороте	Способ обра- ботки почвы под культуру	Минеральные удобрения	Урожай- ность, т/га	Прибавка, +/- т/га		Окупае- мость удобре- ний, кг зерна / кг д.в.
				Обра- ботка почвы	Удоб- рения	
Водораздельное плато						
Отвальная	Отвальная	Без удобрений	3,15	-	-	-
		N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	3,54	-	+0,39*	4,3
		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,71	-	+0,56*	3,1
Безотвальная	Безотвальная	Без удобрений	3,11	-0,04	-	-
		N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	3,38	-0,16	+0,27*	3,0
		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,48	-0,23	+0,37*	2,1
Комбиниро- ванная	Поверхно- стная	Без удобрений	2,97	-0,18	-	-
		N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	3,09	-0,45*	+0,12	1,3
		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,54	-0,17	+0,57*	3,2
НСР ₀₅				0,24	0,24	
Склон северной экспозиции						
Отвальная	Отвальная	Без удобрений	2,25	-	-	-
		N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	3,06	-	+0,81*	9,0
		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,14	-	+0,89*	4,9
Безотвальная	Безотвальная	Без удобрений	1,83	-0,42*	-	-
		N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	2,57	-0,49*	+0,74*	8,2
		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	2,96	-0,18	+1,13*	6,3
Комбиниро- ванная	Поверхно- стная	Без удобрений	2,10	-0,15	-	-
		N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	2,66	-0,40*	+0,56*	6,2
		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	2,99	-0,15	+0,89*	4,9
НСР ₀₅				0,24	0,24	
Склон южной экспозиции						
Отвальная	Отвальная	Без удобрений	2,38	-	-	-
		N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	2,83	-	+0,50*	5,6
		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,44	-	+1,06*	5,9
Безотвальная	Безотвальная	Без удобрений	2,25	-0,13	-	-
		N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	2,65	-0,18	+0,40*	4,4
		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,12	-0,32*	+0,87*	4,8
Комбиниро- ванная	Поверхно- стная	Без удобрений	2,5	+0,12	-	-
		N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	2,63	-0,20	+0,13	1,4
		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,14	-0,30*	+0,64*	3,6
НСР ₀₅				0,26	0,26	

Примечание: * - существенное влияние фактора

Внесение минеральных удобрений способствовало достоверному повышению урожайности ярового ячменя на изучаемых элементах рельефа как при отвальной, так и при безотвальной и поверхностной обработках почвы. Более высокие прибавки урожайности ячменя получены на склоне северной экспозиции: при отвальной обработке почвы при дозе внесения минеральных удобрений $N_{30}P_{30}K_{30}$ – 0,81 т/га, при дозе внесения минеральных удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 0,89 т/га; при безотвальной обработке почвы – 0,74 т/га и 1,13 т/га; при поверхностной – 0,56 т/га и 0,89 т/га, соответственно, по сравнению с вариантами без внесения удобрений. Окупаемость минеральных удобрений была выше при всех изучаемых способах основной обработки почвы на склоне северной экспозиции при внесении удобрений в дозе $N_{30}P_{30}K_{30}$: при отвальной обработке – 9,0 кг зерна на 1 кг д.в. удобрений, при безотвальной – 8,2 кг зерна на 1 кг д.в. удобрений, при поверхностной – 6,2 кг зерна на 1 кг д.в. удобрений. При двойной дозе удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$ окупаемость удобрений была ниже и соответственно составила – 4,9; 6,3 и 4,9 кг зерна на 1 кг д.в. удобрений.

На южном склоне окупаемость минеральных удобрений варьировала от 1,4 до 5,6 кг зерна на 1 кг д.в. удобрений при внесении $N_{30}P_{30}K_{30}$ и от 3,6 до 5,9 кг зерна на 1 кг д.в. удобрений при внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$.

На водораздельном плато прибавки урожайности ячменя были более низкими, по сравнению со склонами северной и южной экспозиций и соответственно окупаемость минеральных удобрений была ниже и варьировала от 1,3 до 4,3 кг зерна на 1 кг д.в. удобрений при внесении $N_{30}P_{30}K_{30}$ и от 2,1 до 3,2 кг зерна на 1 кг д.в. удобрений при внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$.

В целом, при внесении удобрений в дозе $N_{30}P_{30}K_{30}$ прибавки урожайности ячменя на всех элементах рельефа были больше при отвальной обработке почвы; при дозе внесения минеральных удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$ на водораздельном плато – при отвальной и поверхностной обработках были практически равными, на склоне северной экспозиции – были больше при безотвальной обработке, на склоне южной экспозиции – при отвальной обработке почвы.

В зернотравянопропашном севообороте урожайность ярового ячменя (таблица 2) была ниже в среднем на 0,06 т/га на водораздельном плато и на 0,19 т/га – на северном склоне, по сравнению с зернопаропропашным сево-

оборотом. При минимизации обработок почвы урожайность ярового ячменя на водораздельном плато и на склоне северной экспозиции в изучаемых вариантах снижалась.

Внесение минеральных удобрений способствовало повышению урожайности. Окупаемость минеральных удобрений на водораздельном плато варьировала от 6,4 до 7,2 кг зерна на 1 кг д.в. удобрений при внесении $N_{30}P_{30}K_{30}$ и от 3,7 до 5,2 кг зерна на 1 кг д.в. удобрений при внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$ и была больше при безотвальной и поверхностной обработках почвы; на склоне северной экспозиции – от 4,0 до 5,3 и от 4,3 до 5,1 кг зерна на 1 кг д.в. удобрений соответственно и была больше при безотвальной обработке почвы.

Зависимость урожайности ярового ячменя, выращенного на водораздельном плато, от изучаемых севооборотов, обработок почвы и доз минеральных удобрений описывается следующим уравнением множественной регрессии:

$$Y = 30,43 - 0,58X_1 - 3,25X_2^* + 1,2X_3^* + 2,43X_1X_2^* + 0,3X_1X_3 + 0,25X_2X_3$$

$$R = 0,86; R^2 = 0,79; F_{\phi} = 11,73; F_{05} = 3,09$$

Зависимость урожайности ярового ячменя, выращенного на склоне северной экспозиции, от изучаемых севооборотов, обработок почвы и доз минеральных удобрений описывается следующим уравнением множественной регрессии:

$$Y = 20,80 - 0,83X_1 - 1,34X_2^* + 1,50X_3^* + 1,25X_1X_2^* - 0,8X_1X_3^* + 0,34X_2X_3$$

$$R = 0,87; R^2 = 0,80; F_{\phi} = 12,14; F_{05} = 3,09$$

где: Y – урожайность ячменя, ц/га; X_1 – севообороты (0 – зернопаропропашной, 1 – зернотравянопропашной; X_2 – способы основной обработки почвы (0 – отвальная, 1 – безотвальная, 2 – поверхностная), X_3 – минеральные удобрения (0 – без удобрений, 1 – 90 кг/га д.в. NPK, 2 – 180 кг/га д.в. NPK).

Результаты проведенного регрессионного анализа показали, что на водораздельном плато и склоне северной экспозиции изучаемые факторы (севообороты, способы основной обработки почвы и минеральные удобрения) оказывали статистически значимое влияние ($F_{\phi} > F_{05}$) на урожайность ярового ячменя. Коэффициенты корреляции $R = 0,86$ и $R = 0,87$ указывают на сильную тесноту связи между независимой X и зависимой Y переменными. Коэффициенты множественной детерминации R^2 показывают, что вариация урожайности зерна ячменя на 79 % и 80 % связана с действием изучаемых факторов. Коэффициент уравнения при X_3 (минеральные удобрения)

имели положительную направленность, что указывает на то, что применение минеральных удобрений достоверно способствует повышению урожайности ячменя. Коэффициенты уравнения при X_2 (способы основной обработки почвы) имели отрицательную направленность, что говорит о том, что урожайность ячменя при использовании безотвальной и поверхностной обработок почвы достоверно снижается. Коэффициенты уравнения при X_3 (севообороты) были незначительными и имели отрицательную направленность, что говорит о том, что в зернотравянопропашном севообороте наблюдается лишь тенденция снижения урожайности ячменя, по сравнению с зернопаропропашным севооборотом. Установлено статистически значимое положительное взаимодействие севооборотов и обработок почвы.

Согласно ГОСТа 28672-90 [16] определены нормы на зерно ячменя для продовольственных целей (наиболее значимые: натура зерна –

630 г/л) и ГОСТа 5060-86 [17] для пивоварения (наиболее значимые: массовая доля белка – не более 12 %).

В результате проведенных исследований установлено, что содержание белка в зерне ярового ячменя в зернопаропропашном севообороте на водораздельном плато в среднем составило 13,3 %, на склоне северной экспозиции – 11,8 %, на склоне южной экспозиции – 12,8 %. В зернотравянопропашном севообороте на водораздельном плато содержание белка в зерне ячменя равнялось 13,9 % и было в среднем выше на 0,6 %, по сравнению с зернопаропропашным севооборотом. На склоне северной экспозиции – содержание белка было практически равным в двух изучаемых севооборотах и равнялось 11,8 %. На водораздельном плато, склонах северной и южной экспозиции способы основной обработки почвы не оказывали существенного влияния на изменение содержания белка в зерне ячменя [18].

Таблица 2 – Урожайность ярового ячменя и окупаемость удобрений в зависимости от обработок почвы и доз удобрений в зернотравянопропашном севообороте (средняя 1986-2018 гг.)

Система обработки почвы в севообороте	Способ обработки почвы под культуру	Минеральные удобрения	Урожайность, т/га	Прибавка, +/- т/га		Окупаемость удобрений, кг зерна / кг д.в.
				Обработка почвы	Удобрения	
Водораздельное плато						
Отвальная	Отвальная	Без удобрений	2,93	-	-	-
		N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	3,51	-	+0,58*	6,4
		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,59	-	+0,66*	3,7
Безотвальная	Безотвальная	Без удобрений	2,69	-024*	-	-
		N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	3,34	-0,17*	+0,65*	7,2
		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,62	+0,03	+0,93*	5,2
Комбинированная	Поверхностная	Без удобрений	2,74	-0,19*	-	-
		N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	3,36	-0,15	+0,62*	6,9
		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,61	+0,02	+0,87*	4,8
НСР ₀₅				0,17	0,17	
Склон северной экспозиции						
Отвальная	Отвальная	Без удобрений	2,20	-	-	-
		N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	2,56	-	+0,36*	4,0
		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,12	-	+0,92*	5,1
Безотвальная	Безотвальная	Без удобрений	2,00	-0,20*	-	-
		N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	2,48	-0,08	+0,48*	5,3
		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	2,77	-0,35*	+0,77*	4,3
Комбинированная	Поверхностная	Без удобрений	1,86	-0,34*	-	-
		N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	2,22	-0,34*	+0,36*	4,0
		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	2,67	-0,45*	+0,81*	4,5
НСР ₀₅				0,16	0,16	

Примечание: * - существенное влияние фактора

Рисунок 1 - Влияние обработок почвы и доз минеральных удобрений на содержание белка в зерне ярового ячменя в зависимости от местоположения в рельефе (зернопаропропашной севооборот)

Рисунок 2 - Влияние обработок почвы и доз минеральных удобрений на содержание белка в зерне ячменя в зависимости от местоположения в рельефе (зернотравянопропашной севооборот)

В зернопаропропашном севообороте основным фактором, влияющим на повышение содержания белка в зерне ярового ячменя, являются минеральные удобрения (рисунок 1). На водораздельном платосодержание белка в зерне ярового ячменя от внесения одинарных и двойных доз удобрений повышалось при отвальной обработке почвы на 0,3-0,5 % и при безотвальной – на 0,1 %; на склоне северной экспозиции – на 0,5 % и 0,2 %, соответственно, при поверхностной обработке – на 0,1-0,4 %; на склоне южной экспозиции – на 0,6-0,4 % и 0,2 %, соответственно, при поверхностной обработке - на 0,6-0,8 %, по сравнению с вариантом без внесения удобрений. В зернотравянопропашном севообороте содержание белка в зерне ярового ячменя имело тенденцию к повышению по способам обработки почвы в основном при внесении двойных доз удобрений (рисунок 2).

Натура зерна ярового ячменя в зернопаропропашном севообороте на водораздельном плато в среднем составила 636 г/л, на склоне северной экспозиции – 608 г/л, на склоне южной экспозиции – 620 г/л (рисунок 3). В зернотравянопропашном севообороте на водораздельном плато натура зерна ячменя равнялась 642 г/л и была в среднем выше на 6 г/л, на склоне северной экспозиции – равнялась 606 г/л и была ниже на 2 г/л, по сравнению с зернопаропропашным севооборотом (рисунок 4). При минимизации обработки почвы наблюдались тенденции повышения натуры зерна ячменя на водораздельном плато и склоне южной экспозиции и снижения на склоне северной экспозиции. На водораздельном плато, склонах северной и южной экспозиций внесение минеральных удобрений в большинстве случаев способствовало повышению натуры зерна ярового ячменя.

Рисунок 3 - Влияние обработок почвы и доз минеральных удобрений на натуру зерна ячменя в зависимости от местоположения в рельефе (зернопаропропашной севооборот)

Рисунок 4 - Влияние обработок почвы и доз минеральных удобрений на натуру зерна ячменя в зависимости от местоположения в рельефе (зернотравнопропашной севооборот)

Зависимость натуре зерна ярового ячменя, выращенного на водораздельном плато, от изучаемых севооборотов, обработок почвы и доз минеральных удобрений описывается следующим уравнением множественной регрессии:

$$Y = 633,49 + 12,33X_1 + 1,29X_2 + 0,29X_3 - 3,0X_1X_2 - 1,67X_1X_3 + 1,38X_2X_3$$

$R = 0,73$; $R^2 = 0,58$; $F_{\phi} = 4,94$; $F_{05} = 3,09$
 где Y - натура зерна ячменя, г/л; X_1 - севообороты (0-зернопаропропашной (ЗПП), 1 - зернотравнопропашной (ЗТП)); X_2 - способы основной обработки почвы (0 - отвальная, 1 - безотвальная, 2-поверхностная), X_3 - минеральные удобрения (0 - без удобрений, 1 - 90 кг/га д.в. NPK, 2 - 180 кг/га д.в. NPK)

Зависимость показателей качества зерна ярового ячменя от местоположения в рельефе (водораздельное плато, склон северной экспозиции) (X_1), способов основной обработки почвы (X_2) и доз минеральных удобрений (X_3)

описывается следующими уравнениями множественной регрессии:

- содержание белка в зерне ячменя, % (водораздельное плато, склон северной экспозиции) (X_1):

$$Y = 13,15 - 1,49X_1 - 0,02X_2 + 0,13X_3$$

$$R = 0,97; R^2 = 0,94; F_{\phi} = 74,45; F_{05} = 3,34$$

- содержание белка в зерне ячменя, % (водораздельное плато, склон южной экспозиции) (X_1):

$$Y = 13,2 - 0,49X_1 - 0,09X_2 + 0,16X_3$$

$$R = 0,81; R^2 = 0,66; F_{\phi} = 9,14; F_{05} = 3,34$$

- натура зерна, г/л (водораздельное плато, склон северной экспозиции) (X_1):

$$Y = 632,11 - 29,7X_1 + 1,33X_2 + 3,0X_3$$

$$R = 0,95; R^2 = 0,90; F_{\phi} = 40,01; F_{05} = 3,34$$

где Y - показатели качества зерна ярового ячменя; X_1 - местоположение в рельефе (0-водораздельное плато, 1 - склон северной или южной экспозиции соответственно), X_2 - способы основной обработки почвы (0 - отвальная, 1 - безотвальная, 2 -поверхностная), X_3 -

минеральные удобрения (0 – без удобрений, 1 – 90 кг/га д.в. NPK (1 доза), 2 – 180 кг/га д.в. NPK) (2 дозы)

Ориентировочный класс качества зерна ярового ячменя, полученного на водораздельном плато в зернопаропропашном и зернотравянопропашном севооборотах, имеющего натуру зерна 636 и 642 г/л соответственно – на продовольственные цели, согласно *ГОСТ 28672-90. Зерно ярового ячменя, выращенное на склоне северной экспозиции* в зернопаропропашном и зернотравянопропашном севооборотах с содержанием белка 11,8 % может быть использовано для пивоварения, согласно ГОСТ 5060-86.

Экономическая эффективность (таблица 3) изучаемых вариантов опыта определялась по величине прибыли в расчёте на 1 га и рентабельности. В условиях полевого опыта на водораздельном плато в зернопаропропашном севообороте применение безотвальной и поверхностной обработок почвы в вариантах без внесения минеральных удобрений оказалось более эффективным, чем применение отвальной обработки. Применение поверхностной и безотвальной обработок почвы при возделывании ячменя способствует снижению затрат, по сравнению с отвальной обработкой. При их применении на водораздельном плато происходит снижение урожайности ячменя на уровне тенденции, вследствие чего значительного уменьшения выручки не наблюдается.

В варианте без внесения минеральных удобрений прибыль при безотвальной обра-

ботке увеличилась на 1397,15 руб./га, за счет снижения прямых затрат на 1657,14 руб./га и небольшой разницы в урожайности ячменя. Рентабельность составила 68,5 %, при отвальной обработке она равнялась 50,0 %. При поверхностной обработке прибыль увеличилась на 211,07 руб./га при снижении затрат на 1381,06 руб./га и снижении урожайности на 0,18 т/га, по сравнению с отвальной обработкой, рентабельность составила 57,3 %.

При дозе внесения минеральных удобрений $N_{30}P_{30}K_{30}$ – прибыль при безотвальной обработке увеличилась на 549,06 руб./га, при поверхностной обработке – уменьшилась на 1560,46 руб./га, по сравнению с отвальной обработкой. Рентабельность при отвальной обработке почвы составила 46,1 %, при безотвальной – 55,2 %, при поверхностной – 39,6 %. Снижение экономического эффекта при менее энергоёмкой поверхностной обработке почвы обусловлено уменьшением выручки, вследствие снижения урожайности ячменя на 0,45 т/га, значительно превышающей сэкономленные при этом ресурсы.

При дозе внесения минеральных удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$ – прибыль при безотвальной обработке увеличилась на 88,46 руб./га, при поверхностной обработке – на 263,68 руб./га. Это было обусловлено снижением урожайности ячменя и соответственно уменьшением выручки. Рентабельность самой высокой была при поверхностной обработке почвы – 47,6 %.

Таблица 3 – Экономическая и энергетическая эффективность возделывания ярового ячменя в зависимости от способов основной обработки почвы и доз внесения минеральных удобрений (водораздельное плато, зернопаропропашной севооборот)

Способ обработки почвы	Урожайность, т/га	Прямые затраты, руб./га	Себестоимость, руб./ц	Прибыль, руб./га	Рентабельность, %	Энергоёмкость, МДж/га	Коэфф. энерг. эффект.
Без удобрений							
Отвальная	3,15	13653,42	433,44	6821,58	50,0	6999	8,6
Безотвальная	3,11	11996,28	385,73	8218,73	68,5	6629	9,3
Поверхностная	2,97	12272,36	413,21	7032,65	57,3	6546	9,1
Доза минеральных удобрений $N_{30}P_{30}K_{30}$							
Отвальная	3,54	15749,39	444,90	7260,61	46,1	10608	5,1
Безотвальная	3,38	14160,33	418,94	7809,67	55,2	10238	5,2
Поверхностная	3,09	14384,85	465,53	5700,15	39,6	10155	4,8
Доза минеральных удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$							
Отвальная	3,71	16962,10	457,20	7152,90	42,2	14181	3,7
Безотвальная	3,48	15378,64	441,92	7241,36	47,1	13811	3,6
Поверхностная	3,54	15593,42	440,49	7416,58	47,6	13728	3,7

Проведенная оценка вариантов опыта характеризует их экономическую эффективность, но не раскрывает с позиций использования в них энергетического ресурса. Энергетическая оценка заключалась в расчёте энергоёмкости и коэффициента энергетической эффективности. Энергоёмкость рассчитывалась как сумма затрат энергии на один гектар посевной площади ячменя. Коэффициент энергетической эффективности определялся по соотношению количества энергии, накопленной в урожае с затратами антропогенной энергии.

Из данных таблицы 3 видно, что наименьший расход энергии на 1 га был при всех изучаемых обработках почвы в вариантах без внесения удобрений. Однако, без внесения минеральных удобрений, при возделывании сельскохозяйственных культур неизбежно снижение потенциального плодородия почвы, резкое падение урожайности сельскохозяйственных культур на почвах с низким эффективным плодородием почвы в неблагоприятные по погодным условиям годы. При всех уровнях использования удобрений энергоёмкость ниже при поверхностной обработке почвы, по сравнению с отвальной и безотвальной обработками. Наибольшая энергоёмкость отмечена в варианте отвальной обработки почвы при дозе внесения минеральных удобрений $N_{60}P_{60}K_{60} - 14181 \text{ МДж/га}$. При дозе внесения минеральных удобрений $N_{30}P_{30}K_{30}$ энергоёмкость ниже на 3573 МДж/га . Коэффициент энергетической эффективности при дозе минеральных удобрений $N_{30}P_{30}K_{30}$ выше на 1,4 единиц, по сравнению с вариантом внесения дозы минеральных удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$. Коэффициенты энергетической эффективности в варианте с дозой внесения удобрений $N_{30}P_{30}K_{30}$ при безотвальной и поверхностной обработках почвы выше на 0,1 и 0,3 единицы соответственно, по сравнению с отвальной обработкой почвы. При дозе внесения минеральных удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$ коэффициенты энергетической эффективности самые низкие (3,6-3,7 единиц) и практически равны при всех изучаемых обработках почвы.

Выводы. В результате проведенных исследований установлено, что урожайность ярового ячменя выше при возделывании его на водораздельном плато, по сравнению со склонами северной и южной экспозиций. В зернотравянопропашном севообороте наблюдается тенденция снижения урожайности ячменя, по сравнению с зернопаропропашным севооборотом. Наибольшей урожайность ярового ячменя была получена на водораздельном плато при отвальной обработке почвы. Наиболее низкой урожайность ярового ячменя была при безотвальной обработке почвы на склоне северной экспозиции. При минимизации обработок почвы содержание белка и натура зерна в большинстве случаев существенно не изменялись. Внесение минеральных удобрений способствовало достоверному повышению урожайности ярового ячменя, содержания белка и натуры зерна на всех изучаемых элементах рельефа как при отвальной, так и при безотвальной и поверхностной обработках почвы. Более высокие прибавки урожайности ячменя и окупаемость удобрений получены в зернопаропропашном севообороте на склоне северной экспозиции. На водораздельном плато в зернопаропропашном и зернотравянопропашном севооборотах формируется зерно ярового ячменя с более высокой натурой зерна, оно может быть использовано на продовольственные цели, согласно ГОСТа 28672-90. Зерно ярового ячменя, выращенное на склоне северной экспозиции в зернопаропропашном и зернотравянопропашном севооборотах содержит белка менее 12 % и может быть использовано для пивоварения, согласно ГОСТа 5060-86. Применение поверхностной и безотвальной обработок почвы при возделывании ячменя способствует снижению затрат, по сравнению с отвальной обработкой. Наиболее высокая рентабельность и коэффициент энергетической эффективности получены при безотвальной обработке почвы при внесении $N_{30}P_{30}K_{30} - 55,2 \%$ и 5,2 единиц соответственно. Применение поверхностной обработки почвы эффективнее при внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$, рентабельность при этом составляет 47,6 %.

Список использованных источников

1. Черкасов Г.Н., Дериглазова Г.М., Чуян О.Г. Возделывание ярового ячменя для различных целей на склонах Центрального Черноземья. - ГНУ ВНИИЗиЗПЭ РАСХН. - Курск: Изд-во Курск. гос. с.-х. ак., 2010. - 76 с.
2. Дериглазова Г.М., Айдиев А.Я. Особенности возделывания ярового ячменя на склоновых землях Центрального Черноземья. - Курск, 2013. - 234 с.

3. Гармашов В.М., Качанин А.Л. Минимизация обработки почвы в Центрально-Черноземной зоне // Земледелие. - 2007. - № 6. - С. 8-10.
4. Турусов, В.И., Корнилов И.М. Обработка почвы под ячмень на различных элементах агроландшафта // Земледелие. - 2013. - № 1. - С. 19-20.
5. Уваров Г.И., Бондаренко М.В., Азаров В.Б. Совершенствуем технологию возделывания ячменя // Земледелие. - 2005. - № 2. - С. 26-27.
6. Воронин А.Н., Уваров Г.И. Приёмы регулирования урожайности и качества зерна ячменя в Белгородской области // Земледелие. - 2010. - № 6. - С. 11-13.
7. Гулидова В.А. Оптимизация обработки почвы под яровой ячмень // Земледелие. - 2001. - № 6. - С. 18-19.
8. Экономическая оценка интенсивных технологий возделывания ячменя в зернопропашном севообороте / В.Н. Самыкин, В.Д. Соловиченко, И.В. Логвинов, Г.М. Мартаков // Земледелие. - 2013. - № 5. - С. 25-26.
9. Пыхтин И.Г., Зубков А.С. Влияние способов основной обработки почвы на урожайность и пивоваренные качества зерна ячменя в условиях фермерского хозяйства // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. - 2010. - № 6. - С. 40-42.
10. Дубовик Д.В., Чуян О.Г. Качество сельскохозяйственных культур в зависимости от агротехнических приемов и климатических условий // Земледелие. - 2018. - № 2. - С. 9-13.
11. Никитин В.В., Навальнев В.В. Влияние длительного применения удобрений на продуктивность и качество ячменя и гороха // Достижения науки и техники АПК. - 2015. - № 11. - Т.29. - С. 62-64.
12. Влияние длительного применения минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы, продуктивность севооборота и качество зерна /А.В. Пасынков, Е.В. Светлакова, Н.В. Котельникова и др. // Агрохимия. - 2016. - № 10. - С. 38-47.
13. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. - М.: Колос, 1985. - 416 с.
14. Методика ресурсно-экологической оценки эффективности земледелия на биоэнергетической основе // В.М. Володин, Р.Ф. Ерёмина, А.Е. Федорченко, А.А. Ермакова. - Курск, 1999. - 48 с.
15. Методология и методика энергетической оценки агротехнологий в агроландшафтах. - М., 2007. - 21 с.
16. ГОСТ 28672-90. Ячмень. Требования при заготовках и поставках. Межгосударственный стандарт. - М.: Стандартинформ, 2010. - 12 с.
17. ГОСТ 5060-86. Ячмень пивоваренный. Технические условия. Межгосударственный стандарт. - М.: Стандартинформ, 2016. - 5 с.
18. Пигорев И.Я., Степкина И.И., Агеева А.А. Экономико-энергетическая оценка выращивания ярового ячменя на черноземе типичном лесостепи // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. - 2013. - № 2. - С. 44-46.
19. Долгополова Н.В. Обоснование критериев оптимизации системы обработки почвы в севообороте под основные культуры в условиях ландшафтного земледелия // Региональный вестник. - 2018. - № 2 (11). - С. 2-3.

List of sources used

1. Cherkasov G.N., Deriglazova G.M., Chuyan O.G. Cultivation of spring barley for various purposes on the slopes of the Central Black Earth Region. - GNU VNIIZiPE RAAS. - Kursk: Publishing house of Kursk. state S.-kh. Ac., 2010.-76 p.
2. Deriglazova G.M., Aidiev A.Ya. Features of cultivation of spring barley on the slope lands of the Central Black Earth Region. - Kursk, 2013. - 234 p.
3. Garmashov V.M., Kachanin A.L. Minimization of soil cultivation in the Central Black Earth zone // Agriculture. - 2007. - No. 6. - S. 8-10.
4. Turusov, V.I., Kornilov I.M. Soil cultivation under barley on various elements of the agrolandscape // Agriculture. - 2013.-№ 1. - S. 19-20.

5. Uvarov G.I., Bondarenko M.V., Azarov V.B. Improving the technology of barley cultivation // Agriculture. - 2005. - No. 2. - S. 26-27.
6. Voronin A.N., Uvarov G.I. Methods for regulating the yield and quality of barley grain in the Belgorod region // Agriculture. - 2010. - No. 6. - S. 11-13.
7. Gulidova V.A. Optimization of tillage under spring barley // Agriculture. - 2001. - No. 6. - P. 18-19.
8. Economic assessment of intensive technologies for the cultivation of barley in grain-crop rotation / V.N. Samykin, V.D. Solovichenko, I.V. Logvinov, G.M. Martakov // Agriculture. - 2013. - No. 5. - S. 25-26.
9. Pykhtin I.G., Zubkov A.S. The influence of the main tillage methods on the yield and brewing quality of barley grain in a farm // Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. - 2010. - No. 6. - S. 40-42.
10. Dubovik D.V., Chuyan O.G. The quality of crops depending on agricultural practices and climatic conditions // Earth-delie. - 2018. - No. 2. - S. 9-13.
11. Nikitin V.V., Navalnev V.V. The effect of prolonged use of fertilizers on the productivity and quality of barley and peas // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. - 2015. - No. 11. - T.29. - S. 62-64.
12. The effect of prolonged use of mineral fertilizers on the fertility of sod-podzolic soil, crop rotation and grain quality / A.V. Pasyukov, E.V. Svetlakova, N.V. Kotelnikova et al. // Agricultural chemistry. - 2016.- No. 10. - S. 38-47.
13. Armor B.A. Methods of field experience. - M.: Kolos, 1985. - 416 p.
14. The methodology of resource-ecological assessment of the effectiveness of agriculture on a bioenergy basis // V.M. Volodin, R.F. Eremin, A.E. Fedorchenko, A.A. Ermakova. - Kursk. - 1999. - 48 p.
15. Methodology and methodology for energy assessment of agricultural technologies in agrolandscapes. - M., 2007. - 21 p.
16. GOST 28672-90. Barley. Requirements for procurement and supplies. Interstate standard. - M.: Standartinform, 2010. - 12 p.
17. GOST 5060-86. Brewing barley. Technical conditions Interstate standard. - M.: Standartinform, 2016. - 5 p.
18. Pigorev I.Ya., Stepkina II, Ageeva A.A. Economic and energy assessment of spring barley cultivation on chernozem of a typical forest-steppe // Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. - 2013. - No. 2. - S. 44-46.
19. Dolgopolova N.V. Justification of the optimization criteria for the soil cultivation system in the crop rotation for the main crops in landscape farming // Regional Bulletin. - 2018 .-- No. 2 (11). - S. 2-3.