

**ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ УДОБРЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ  
В СЕВООБОРОТЕ С САХАРНОЙ СВЕКЛОЙ,  
НА ПЛОДРОДИЕ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО,  
УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В ЦЕНТРАЛЬНОМ ЧЕРНОЗЕМЬЕ**

**Н.А. Куницин**, соискатель,  
**О.А. Минакова**, доктор сельскохозяйственных наук

*Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им. А.Л. Мазлумова,  
396030, Воронежская обл., Рамонский район, пос. ВНИИСС, 86  
E-mail: olalmin2@rambler.ru*

*Исследования проводили с целью определения последствия удобрений, длительно применяемых под сахарную свеклу в 9-польном зернопаропропашном севообороте в зоне неустойчивого увлажнения лесостепи Центрально-Черноземного района, на плодородие выщелоченного чернозема под зерновыми культурами, их урожайность и качество. Схема опыта, заложенного в 1936 г., включала следующие системы удобрения (в расчете на ротацию севооборота):  $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$  т/га навоза;  $N_{180}P_{180}K_{180} + 25$  т/га навоза;  $N_{270}P_{270}K_{270} + 25$  т/га навоза;  $N_{300}P_{300}K_{300} + 50$  т/га навоза;  $N_{380}P_{380}K_{380}$ ; без удобрений (контроль). Минеральные удобрения вносили только под сахарную свеклу 2 раза за ротацию, навоз – 1 раз в черный пар. Наиболее значительные в опыте изменения агрохимических свойств почвы в слое 0...40 см под влиянием минеральных удобрений и навоза отмечены под озимой пшеницей (повышение содержания подвижного  $P_2O_5$  на 21,3...77,2 %, суммы  $N-NO_3$  и  $N-NH_4$  – на 8,1...133,2 %,  $pH_{KCl}$  – на 0,07...0,37 ед.), наименьшие – под овсом ( $P_2O_5$  – на 16,3...44,4 %). Насыщение удобрениями больше всего увеличивало урожайность овса (на 12,2...65,5 % к контролю), несколько меньше – ячменя (на 13,0...59,1 %) и озимой пшеницы в паровом звене (на 7,4...57,6 %), меньше озимой пшеницы в клеверном звене (29,9...47,8 %). Последствие удобрений повышало содержание белка в зерне овса на 0,5...1,0 %, ячменя – на 0,6...1,8 % к контролю. Отмечена сильная положительная связь урожайности ячменя, овса и озимой пшеницы в обоих звеньях с количеством внесенных элементов питания ( $r=0,67...0,95$ ). В зернопаропропашном севообороте наибольшая урожайность при удовлетворительном качестве зерна озимой пшеницы, ячменя и овса достигалась на фоне  $N_{135}P_{135}K_{135}$  под свеклу сахарную дважды за ротацию и 25 т/га навоза в паровом или  $N_{190}P_{190}K_{190}$  без навоза, внесение которых обеспечивало получение на 1 кг NPK 14,4...16,8 кг зерна.*

**AFTER-EFFECT OF FERTILIZERS APPLIED  
IN A CROP ROTATION WITH SUGAR BEET  
ON LEACHED CHERNOZEM FERTILITY,  
YIELD AND QUALITY OF GRAIN CROPS IN THE CENTRAL BLACK-EARTH REGION**

**Kunitsin N.A., Minakova O.A.**

*The A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar,  
396030, Voronezhskaya obl., Ramonsky r-n, pos. VNISS, 86  
E-mail: olalmin2@rambler.ru*

*Aim of the studies was to determine after-effect of fertilizers long applied in sugar beet fields under conditions of 9-course grain-arable crop rotation of the Central Black-Earth Region forest-steppe unstable rainfall area on fertility of leached chernozem of fields with grain crops, their yield and quality. Scheme of the started in 1936 experiment with clay-loamy low-humic leached chernozem consisted of fertilizer systems including application of mineral fertilizers at the rates of  $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$  t/ha of manure,  $N_{180}P_{180}K_{180} + 25$  t/ha of manure,  $N_{270}P_{270}K_{270} + 25$  t/ha of manure,  $N_{300}P_{300}K_{300} + 50$  t/ha of manure, and  $N_{380}P_{380}K_{380}$  per rotation and variant without fertilizers (control). Mineral fertilizers were used for sugar beet only, 2 times per rotation; manure was applied once in black fallow. Under influence of mineral fertilizers and cattle manure, the most significant changes of leached chernozem agrochemical characteristics in the layer of 0-40 cm were noted for winter wheat (increase of content by 21.3...77.2 % for mobile  $P_2O_5$ , 8.1...133.2 % for  $N_{\text{mineral}}$  (the sum of  $N-NO_3$  and  $N-NH_4$ ), and 0.07...0.37 for  $pH_{KCl}$ ). The least changes were registered for oats (improvement of  $P_2O_5$  content by 16.3...44.4 %). Increase of crop rotation area saturation with fertilizer (per 1 ha) most of all promoted an increase of oats yield (by 12.2...65.5 % as compared to the control). The effect on barley and winter wheat in a link with fallow was somewhat less (13.0...59.1% and 7.37...57.6 %, correspondingly). And winter wheat in a link with clover was the least influenced (29.9...47.8 %). Fertilizers after-effect promoted increase of protein content in grain of oats by 0.5...1.0 % and barley by 0.6...1.8 % as compared to the control. By mathematical methods, great direct dependence of burley, oats and winter wheat grain yield in both links on the quantity of basic nutrients applied per 1 ha of a crop rotation field ( $r=0.674...0.954$ ) was determined. The fertilizer systems of the grain-arable crop rotation ensuring the greatest yield and satisfactory quality of wheat, burley and oats grain were:  $N_{135}P_{135}K_{135}$  2 times per rotation together with 25 t/ha of manure in fallow and  $N_{190}P_{190}K_{190}$  (without manure) for sugar beet; each kg of their nutrients made it possible to obtain 14.4 and 16.8 kg of additional grain, accordingly.*

**Ключевые слова:** зерновые культуры, удобрения, озимая пшеница (*Triticum aestivum*), ячмень (*Hordeum vulgare*), овес (*Avena sativa*), агрохимические свойства, почва

**Key words:** grain crops, fertilizers, winter wheat (*Triticum aestivum*), barley (*Hordeum vulgare*), oats (*Avena sativa*), agrochemical characteristics, soil

Основной фактор реализации потенциала продуктивности сахарной свеклы – оптимизация ее минерального питания. Успешное решение этой проблемы неразрывно связано с рациональным применением агрохимических средств [1], в том числе удобрений. Важное значение система удобрений приобретает в

севообороте, где можно наиболее продуктивно использовать питательные вещества почвы и удобрений с учетом биологических особенностей культур [2], а также их способностью оставлять после себя и накапливать питательные вещества в почве [3].

Под сахарную свеклу используют значительные

дозы удобрений ( $N_{90...170}P_{90...180}K_{75...170}$ ) [4, 5, 6], что связано с высоким выносом основных элементов питания этой культурой ( $N - 51...181$ ,  $P_2O_5 - 18...89$ ,  $K_2O - 64...266$  кг/га) [7, 8]. При этом известно, что внесенные питательные элементы усваиваются не сразу, некоторое их количество остается в почве для второй и даже третьей культуры, следующей по севообороту за хорошо удобренным предшественником [9].

Для формирования урожая яровых зерновых, зернобобовых и трав, требуется меньшее количество элементов питания. Так, вынос урожаем овса  $N$  составляет 45 кг/га,  $P_2O_5 - 21$  и  $K_2O - 42$  кг/га [9], однолетних трав – соответственно 60, 15 и 60 кг/га [5], гороха – 78, 22 и 31 кг/га [10], клевера – 118, 34 и 90 кг/га [11]. Дополнительное поступление азота в почву обеспечивает возделывание многолетних трав и гороха – 123...141 кг/га [12] и 40 кг/га [9] соответственно.

Культура, под которую вносят минеральные удобрения (сахарная свекла, картофель, подсолнечник и др.) в пропашных севооборотах, использует 45...70 %  $N$ , 10...20 %  $P_2O_5$ , 40...60 %  $K_2O$ , следующая за ней культура 3...5 %  $N$ , 5...15 %  $P_2O_5$  и 10...20 %  $K_2O$  и даже третья культура после внесения навоз способна использовать до 5 %  $N$  и 5 %  $P_2O_5$  [11]. Из навоза, при прямом действии и последствии в сумме используется только около половины  $N$ , 40...50 %  $P_2O_5$  и 60...75 %  $K_2O$ , а из минеральных удобрений за 3 года в среднем соответственно 45...70 %, 20...40 % и 50...80 % [11]. В зернопропашном севообороте на черноземе типичном в условиях Белгородской области при внесении 40...60 т/га подстильного навоза совместно с рекомендованными дозами минеральных удобрений последствие 1 т навоза обеспечивало получение 9 кг ячменя, 85 кг кукурузы на силос, 3,3 кг гороха, 3,6 кг озимой пшеницы [13].

Неиспользованные элементы служат основой для повышения почвенного плодородия, которое отмечают при длительном применении удобрений [13, 14, 15]. По результатам многих исследований отмечено значительное влияние последствия удобрений на урожайность зерновых культур, возделываемых в одном севообороте с пропашными [16, 17, 18].

Повышение продуктивности севооборота обеспечивает увеличение урожайности, в том числе от последствия удобрений, доля которого составляет 11,6...23,5 % [15]. Зачастую последствие интенсивной удобрения выше прямого действия [19].

Улучшение питания зерновых культур не только обеспечивает увеличение урожайности, но и оптимизирует ее структуру, повышает качество зерна [20, 21, 22].

Цель исследований – установить последствие длительно применяемых под сахарную свеклу удобрений на плодородие почвы под зерновыми культурами, их урожайность и качество в зернопаропропашном севообороте в условиях Центрального Черноземья.

**Методика.** Работу проводили в 2019–2020 гг. в длительном стационарном полевом опыте по изучению влияния удобрений на плодородие чернозема выщелоченного, урожайности и качество культур зернопаропропашного севооборота, заложенном в 1936 г. в пос. Рамонь Воронежской области. Объектами исследований служили почва опытного участка – чернозем выщелоченный малогумусный среднеспособный тяжелосуглинистый, а также основная продукция (зерно) озимой пшеницы, овса и ячменя. Удобрения применяли в 9-польном зернопаропропашном севообороте со следующим чередованием культур: черный пар – озимая пшеница – сахарная свекла – ячмень с подсевом клевера – клевер первого года использования – озимая пше-

ница – сахарная свекла – однолетние травы (горох+овес) – овес. Севооборот развернут во времени и в пространстве. Схема опыта: без удобрений (контроль);  $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$  т/га навоза (с минеральными удобрениями за ротацию внесено  $N_{90}P_{90}K_{90}$  – система I);  $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$  т/га навоза ( $N_{180}P_{180}K_{180}$  – система II);  $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$  т/га навоза ( $N_{270}P_{270}K_{270}$  – система III);  $N_{150}P_{150}K_{150} + 50$  т/га навоза ( $N_{300}P_{300}K_{300}$  – система IV);  $N_{190}P_{190}K_{190}$  ( $N_{380}P_{380}K_{380}$  – система V).

В качестве минеральных удобрений использовали нитроаммофоску с содержанием NPK 16:16:16, которую вносили только под сахарную свеклу осенью взбросом вручную перед основной обработкой почвы (отвальная вспашка). Использовали полуперепревший подстильный навоз с  $pH = 7,9$ , содержанием общих  $N - 0,48$  %,  $P_2O_5 - 0,23$  %,  $K_2O - 0,62$  %, который вносили разбрасывателем РОУ-5 один раз за ротацию в паровом поле, прямое действие навоза испытывала озимая пшеница в паровом звене, последствие – остальные культуры севооборота.

Повторность опыта трехкратная, размещение вариантов – систематическое. Общая площадь опытной делянки составляла 133,7 м<sup>2</sup>, учетная – 16,2 м<sup>2</sup>. Возделывали районированные сорта отечественной и белорусской селекции: озимой пшеницы – Безенчукская 380, Скипетр, ячменя – Атаман, Таловский 9, овса – Лев, Золотой дождь.

Почвенные образцы отбирали с глубины 0...20 и 20...40 см в третьей декаде мая согласно ГОСТ P58595-2019. Агрохимические анализы и определение качества зерна выполняли в ГЦАС «Воронежский». В свежих образцах почвы измеряли содержание нитратного (по ГОСТ 26951-86) и аммонийного (по ГОСТ 26489-85) азота, в сухих – подвижного фосфора ( $P_2O_5$ ) и калия ( $K_2O$ ) по Чирикову (ГОСТ 26213-91), а также  $pH_{KCl}$  (ГОСТ 26490-85). Урожайность зерна определяли методом пробного снопа. Статистическую обработку данных проводили методами дисперсионного и регрессионного анализов (Доспехов Б.А., 1985) с использованием программы Excel 2010.

**Результаты и обсуждение.** Кислотность почвы под озимой пшеницей после пара была на 0,15...0,54 ед.  $pH$  ниже, чем после клевера (табл. 1), возможно, как вследствие подщелачивающего влияния навоза, так и из-за подкисления при разложении свежих растительных остатков клевера. Почва под озимой пшеницей после пара относилась к слабокислой, после клевера – к среднекислой. Уменьшение различий в кислотности почвы под озимой пшеницей в изучаемых звеньях отмечали при повышении уровня применения минеральных удобрений (системы  $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$  т/га навоза,  $N_{180}P_{180}K_{180} + 25$  т/га навоза,  $N_{270}P_{270}K_{270} + 25$  т/га навоза и  $N_{380}P_{380}K_{380}$ ), что свидетельствовало о более значительном их подкисляющем влиянии на почву под озимой пшеницей после клевера, по сравнению с пшеницей после пара, за исключением системы IV ( $N_{300}P_{300}K_{300} + 50$  т/га навоза). Отмечено подкисление  $pH_{KCl}$  относительно контроля, на 0,07...0,37 ед. в почве под озимой пшеницей после клевера и на 0,18...0,27 – после пара, наибольшее снижение происходило при системе V ( $N_{380}P_{380}K_{380}$ ), наименьшее – при системах II и III ( $N_{180}P_{180}K_{180} + 25$  т/га навоза и  $N_{270}P_{270}K_{270} + 25$  т/га навоза). В почве после пара было отмечено снижение кислотности в вариантах с системами I и IV ( $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$  т/га навоза и  $N_{300}P_{300}K_{300} + 50$  т/га навоза) вследствие невысокой агрохимической нагрузки при системе I и подщелачивающего действия повышенной дозы навоза при системе IV.

Табл. 1. Агрохимические свойства почвы (слой 0...40 см) под озимой пшеницей (2019–2020 гг.)

Вариант	После клевера				После пара			
	рН <sub>КСл</sub>	N <sub>мин</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	рН <sub>КСл</sub>	N <sub>мин</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Контроль	5,09	4,25	77,5	82	5,29	3,58	80,7	80,2
Система I	5,02	5,17	94,0	77	5,40	8,35	104	79,5
Система II	4,96	5,90	118	81	5,11	6,50	128	77,2
Система III	4,94	5,10	129	78	5,11	5,05	143	80,2
Система IV	5,00	4,10	110	82	5,54	3,87	104	89,2
Система V	4,72	4,62	133	82	5,02	6,52	121	79,5
HCP <sub>05</sub>	0,05	0,26	5,79	F <sub>φ</sub> < F <sub>τ</sub>	0,06	0,32	5,6	F <sub>φ</sub> < F <sub>τ</sub>

Последствие удобрений, особенно систем II и III (N<sub>180</sub>P<sub>180</sub>K<sub>180</sub> + 25 т/га навоза и N<sub>270</sub>P<sub>270</sub>K<sub>270</sub> + 25 т/га навоза) с высокой насыщенностью питательными элементами, повышалось содержание минерального азота (сумма N-NO<sub>3</sub> и N-NH<sub>4</sub>), относительно контроля, в почве под озимой пшеницей после клевера на 8,7...38,8 %, после пара – на 8,1...133,2 %. Наибольшее влияние оказали системы I, III и V (N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> + 25 т/га навоза, N<sub>270</sub>P<sub>270</sub>K<sub>270</sub> + 25 т/га навоза и N<sub>380</sub>P<sub>380</sub>K<sub>380</sub>). Содержание подвижного P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в почве после клевера в удобренных вариантах повышалось на 21,3...71,6 %, после пара – на 28,9...77,2 %. Самое высокое влияние оказывали системы II, III и V (N<sub>180</sub>P<sub>180</sub>K<sub>180</sub> + 25 т/га навоза, N<sub>270</sub>P<sub>270</sub>K<sub>270</sub> + 25 т/га навоза и N<sub>380</sub>P<sub>380</sub>K<sub>380</sub>), создавая повышенную обеспеченность подвижным P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> вследствие высокой насыщенности минеральными удобрениями. Увеличение количества вносимых удобрений сопровождалось ростом содержания P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, за исключением системы IV с повышенной (50 т/га) дозой навоза. Действие навоза в дозе 25 т/га проявилось в увеличении содержания подвижного фосфора в почве под озимой пшеницей после пара на 8,5...10,8 %, относительно почвы под озимой пшеницей после клевера. Калийный режим почвы как после клевера, так и после пара не был подвержен изменениям. Почва относилась к среднеобеспеченной этим элементом (за исключением варианта с системой IV).

Как под овсом, так и под ячменем кислотность почвы не была подвержена существенным изменениям, под овсом отмечена тенденция к повышению на 0,04...0,13 ед. (табл. 2) в вариантах с системами I, II, IV (N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> + 25 т/га навоза, N<sub>180</sub>P<sub>180</sub>K<sub>180</sub> + 25 т/га навоза и N<sub>300</sub>P<sub>300</sub>K<sub>300</sub> + 50 т/га навоза), под ячменем – к ее снижению на 0,05 и 0,22 ед. при использовании систем III и V (N<sub>270</sub>P<sub>270</sub>K<sub>270</sub> + 25 т/га навоза и N<sub>380</sub>P<sub>380</sub>K<sub>380</sub>). Такая

ситуация обусловлена тем, что на ячмень в большей мере влияют удобрения сахарной свеклы, поскольку он испытывает их последствие первого года, а овес – второго. Кислотность почвы под ячменем была на 0,05...0,23 ед. рН ниже, чем под овсом, что возможно, связано с биологическими особенностями культур. Увеличение разницы отмечено в контроле и на фоне последствия системы IV (N<sub>300</sub>P<sub>300</sub>K<sub>300</sub> + 50 т/га навоза).

Количество N<sub>мин</sub> (сумма N-NO<sub>3</sub> и N-NH<sub>4</sub>) в почве под ячменем возрастало, относительно контроля, на 23,6...76,1 %, наибольшее его содержание отмечено в вариантах систем I, III, V (N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> + 25 т/га навоза, N<sub>180</sub>P<sub>180</sub>K<sub>180</sub> + 25 т/га навоза, N<sub>380</sub>P<sub>380</sub>K<sub>380</sub>), в почве под овсом содержание минерального азота не изменялось. Наибольшее влияние удобрений на почву под ячменными культурами выражалось в изменении содержания подвижного P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Под овсом оно возрастало на 16,3...44,4 %, повышение доз удобрений приводило к последовательному росту величины этого показателя, относительно контроля, на 21,4, 44,3, 16,3 и 42,4 % соответственно. Повышение доз удобрений обеспечивало увеличение содержания подвижного P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в почве под ячменем, относительно контроля, на 6,6...71,4 %, возрастающие дозы минеральных удобрений на фоне 25 т/га навоза способствовали росту величины этого показателя на 6,59, 42,2 и 13,0 %, то есть наибольшее влияние оказывала система II (N<sub>180</sub>P<sub>180</sub>K<sub>180</sub> + 25 т/га навоза).

В почве под овсом было отмечено достоверное увеличение содержания подвижного K<sub>2</sub>O на 4,0...23,3 %, что, возможно, связано с возделыванием в этом звене севооборота клевера. Под ячменем величина этого показателя не была подвержена изменению, очевидно вследствие того, что предшественник сахарная свекла – калиелюбивая культура и выносит его в большом

Табл. 2. Агрохимические свойства почвы (слой 0...40 см) под яровыми зерновыми культурами

Вариант	Овес				Ячмень			
	рН <sub>КСл</sub>	N <sub>мин</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	рН <sub>КСл</sub>	N <sub>мин</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Контроль	4,83	7,13	99,7	75,0	5,06	5,68	91,0	88,0
Система I	4,92	10,80	92,7	71,0	5,01	9,93	97,0	76,0
Система II	4,95	5,43	121,0	78,0	5,00	7,02	138,0	88,7
Система III	4,87	7,44	144,0	80,7	4,84	10,00	156,0	104,0
Система IV	4,96	4,97	116,0	92,5	5,11	5,49	118,0	84,7
Система V	4,83	6,79	142,0	78,7	4,91	7,93	119,0	92,2
HCP <sub>05</sub>	F <sub>φ</sub> < F <sub>τ</sub>	F <sub>φ</sub> < F <sub>τ</sub>	7,3	3,0	F <sub>φ</sub> < F <sub>τ</sub>	0,42	6,4	F <sub>φ</sub> < F <sub>τ</sub>

Табл. 3. Урожайность и качество зерновых культур

Вариант	Озимая пшеница по пару		Ячмень		Овес		Озимая пшеница по клеверу	
	урожайность, т/га	сырая клейковина, %	урожайность, т/га	белок, %	урожайность, т/га	белок, %	урожайность, т/га	сырая клейковина, %
Контроль	3,66	21	3,01	10,0	2,29	11,2	3,35	24
Система I	3,93	21	3,40	10,9	2,57	11,8	3,51	24
Система II	3,68	21	4,37	11,8	3,21	11,1	4,34	23
Система III	4,92	21	4,79	11,5	3,44	12,2	4,68	23
Система IV	4,60	22	4,23	10,7	3,39	11,7	4,95	24
Система V	5,77	21	4,68	10,6	3,79	11,7	4,48	23
НСР <sub>05</sub>	0,24	-	0,21	0,5	0,17	0,6	0,25	1

(около 300 кг/га) количестве [5]. В почве под ячменем отмечали значительное увеличение содержания калия только в варианте с системой III ( $N_{270}P_{270}K_{270} + 25$  т/га навоза), при этом оно было выше, чем под овсом, на 7,0...28,9 % за исключением системы IV ( $N_{300}P_{300}K_{300} + 50$  т/га навоза).

Последствие удобрений обеспечивало повышение урожайности озимой пшеницы после пара, относительно контроля, на 0,27...2,11 т/га, или на 7,4...57,6 % (табл. 3), наибольшее влияние оказывали системы III ( $N_{270}P_{270}K_{270} + 25$  т/га навоза) и V ( $N_{380}P_{380}K_{380}$ ) с высокой насыщенностью минеральными удобрениями. В то же время, повышение доз удобрений не привело к росту содержания сырой клейковины в зерне озимой пшеницы, отмечена только тенденция к ее увеличению в варианте IV с  $N_{300}P_{300}K_{300} + 50$  т/га навоза в пару на 1 %.

В звене с клевером под влиянием последствия удобрений урожайность зерна озимой пшеницы возрастала на 0,99...1,60 т/га (29,5...47,8 %), наибольшее воздействие отмечено при использовании систем III и IV ( $N_{270}P_{270}K_{270} + 25$  т/га навоза и  $N_{300}P_{300}K_{300} + 50$  т/га навоза). В этих вариантах наблюдали самый высокий уровень окупаемости 1 кг питательных веществ (3,48 и 3,44 кг/кг соответственно). Повышение и снижение насыщенности удобрениями в системах II и V ( $N_{180}P_{180}K_{180} + 25$  т/га навоза и  $N_{380}P_{380}K_{380}$ ) сопровождалось снижением окупаемости до 3,38 и 2,97 кг/кг соответственно. В контроле, в вариантах I, III и V урожайность культуры в паровом звене была выше, чем в травяном, на 0,24...1,29 т/га, что свидетельствует о более высоком эффекте изучаемых доз в звене после клевера, чем после пара. Вследствие того, что с корневыми и пожнивными остатками клевера в почву поступало 142,1...202,2 кг/га азота, содержания сырой клейковины в зерне озимой пшеницы, выращенной после клевера, было на 2...3 % выше, чем после пара. При повышении доз удобрений величина этого показателя в большей степени изменялось при выращивании озимой пшеницы после клевера, чем после пара. Так, после клевера системы II, III и IV ( $N_{180}P_{180}K_{180} + 25$  т/га навоза,  $N_{270}P_{270}K_{270} + 25$  т/га навоза и  $N_{300}P_{300}K_{300} + 50$  т/га навоза) снижали содержание сырой клейковины, относительно контроля, на 1,0 %, в вариантах с системами I и V ( $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$  т/га навоза и  $N_{380}P_{380}K_{380}$ ) оно находилось на уровне контроля (24 %). После пара существенного изменения содержания клейковины в зерне озимой пшеницы не отмечали.

Последствие удобрений на 1-й год после сахарной свеклы в паровом звене способствовало повышению урожайности зерна ячменя, относительно кон-

троля, на 13,0...59,1 % (на 0,39...1,78 т/га), наибольшее влияние оказали системы III и V ( $N_{270}P_{270}K_{270} + 25$  т/га навоза и  $N_{380}P_{380}K_{380}$ ), содержание белка при этом возрастало на 0,6...1,8 %. Повышение уровня насыщенности удобрениями способствовало увеличению урожайности овса на 0,28...1,50 т/га (12,2...65,5 %), сильнее всего при системе V с  $N_{380}P_{380}K_{380}$ , а содержание белка в зерне возрастало на 0,5...1,0 %, более всего при системе III с  $N_{270}P_{270}K_{270} + 25$  т/га навоза в пару. Увеличение доз удобрений с  $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$  т/га навоза до  $N_{180}P_{180}K_{180} + 25$  т/га навоза способствовало росту урожайности зерна овса на 0,64 т/га, дальнейшее их повышение до  $N_{270}P_{270}K_{270} + 25$  т/га навоза,  $N_{300}P_{300}K_{300} + 50$  т/га навоза и  $N_{380}P_{380}K_{380}$  обеспечивало меньшую прибавку. Окупаемость 1 кг питательных веществ системы удобрения I (с учетом навоза) зерном озимых и яровых культур составила 4,45 кг/кг, системы II – 11,2 кг/га, системы III – 14,4 кг/га, системы IV – 10,4 кг/га, системы V – 16,8 кг/га.

В результате регрессионного анализа установлена сильная положительная связь урожайности ячменя, овса и озимой пшеницы с количеством основных элементов питания, внесенных на 1 га севооборотной площади ( $r=0,67...0,95$ ). Согласно уравнениям регрессии повышение уровня удобренности пашни увеличивало урожайность на 2,6...3,2 кг (табл. 4), в наибольшей степени – озимой пшеницы после пара, в наименьшей – овса. Урожайность яровых зерновых культур в сильной степени была обусловлена содержанием подвижного  $P_2O_5$  в почве ( $r=0,75...0,78$ ), но не зависела от  $N_{\text{мн}}$ ,  $pH_{\text{KCL}}$ , подвижного  $K_2O$  (за исключением ячменя –  $r=0,43$ , средняя связь).

Таким образом, последствие минеральных удобрений, внесенных под сахарную свеклу и навоза в паровом поле, на агрохимические свойства почвы под зерновыми культурами зависело от доз их применения и повышало содержание подвижного  $P_2O_5$  относительно варианта без удобрений на 16,3...77,2 %,  $N_{\text{мн}}$  – на 8,7...133,2 %,  $pH_{\text{KCL}}$  – на 0,07...0,37 ед., при отсутствии влияния на содержание подвижного  $K_2O$ . Внесение навоза в паровом поле обеспечивало повышение содержания  $N_{\text{мн}}$  в почве под озимой пшеницей, в сравнении с вариантом после клевера, на 10,2...61,5 %,  $P_2O_5$  – на 8,5...10,8 % и  $pH_{\text{KCL}}$  – на 0,15...0,54 ед. Изменение плодородия почвы под зерновыми, обусловленное длительным систематическим применением удобрений, способствовало повышению урожайности озимой пшеницы после клевера, относительно контроля, на 29,9...47,8 %, озимой пшеницы после пара – на 7,4...57,6 %, ячменя – на 13,0...59,1 %, овса – на 12,2...65,5 %. Последствие удобрений сопро-

**Табл. 4. Уравнения взаимных связей\* урожайности (Y) зерновых культур, доз удобрений и агрохимических свойств почвы (слой 0...40 см)**

Культура	Сумма NPK удобрений	pH <sub>KCl</sub>	Содержание в почве, мг/кг		
			N <sub>мин.</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Озимая пшеница (звено - пар)	Y=0,0032x+3,320 (0,67)**	-	-	-	-
Озимая пшеница (звено - клевер)	Y=0,0028x+3,263 (0,83)	-	-	Y=0,024x+1,527 (0,65)	-
Ячмень	Y=0,0031x+3,025 (0,82)	Y=-4,56x+26,8 (0,39)	-	Y=0,026x+1,07 (0,76)	Y=0,051x-0,484 (0,43)
Овес	Y=0,0026x+2,211 (0,95)	-	-	Y=0,024x-0,266 (0,78)	-

\* прочерки означают отсутствие связи.  
\*\* в скобках коэффициент парной корреляции

вождалось снижением содержания сырой клейковины в зерне озимой пшеницы после клевера на 1,0 %, но повышалось содержание белка в зерне овса на 0,5...1,0 % и в зерне ячменя на 0,6...1,8 %. Наибольшую в опыте урожайность зерновых культур с окупаемостью удобрений прибавкой урожая 14,4 кг/га при хорошем качестве зерна обеспечивало внесение N<sub>135</sub>P<sub>135</sub>K<sub>135</sub> под сахарную свеклу два раза в ротацию совместно с 25 т/га навоза в паровом поле, а также N<sub>190</sub>P<sub>190</sub>K<sub>190</sub> без навоза – при некотором снижении качества с окупаемостью удобрений 16,8 кг/га.

**Литература**

1. Булдыкова И.А., Шеуджен А.Х. Влияние микроудобрений на урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 98. С. 732–737.
2. Карамнова Н.В., Белоусов В.М. Управление технологиями: учебное пособие. Мичуринск: Изд-во Мичуринского ГАУ, 2018. 275 с.
3. Малимбаева А.Д. Урожайность культур свекловичного севооборота в зависимости от длительного и систематического применения удобрений // Почвоведение и агрохимия. 2009. № 3. С. 39–43.
4. Гуреев И.И., Агibalов А.В. Производство сахарной свеклы без затрат ручного труда. Курск: Курский ЦНТИ, 2000. 124 с.
5. Агрохимия / В.Г. Минеев, В.Г. Сычев, Г.П. Гамзиков и др. М.: Изд-во ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2017. 854 с.
6. Инновационные технологии производства, хранения и переработки сахарной свеклы. Аналитический обзор / В.Ф. Федоренко, Н.П. Мишууров, Т.А. Щеголихина и др. М.: Росинфраагротех, 2020. 92 с.
7. Мязин Н.Г., Кожокина А.Н. Влияние удобрений на изменение содержания элементов питания в почве, продуктивность и качество корнеплодов сахарной свеклы // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2013. № 3 (38). С. 15–21.
8. Заришняк А.С., Руцкая С.И., Колибабчук Т.В. Влияние удобрений на потребление элементов питания культурами зерно-свекловичного севооборота на черноземе оподзоленном // Агрохимия. 2003. № 6. С. 39–46.
9. Ефимов В.Н., Донских И.Н., Царенко В.П. Система удобрения. М.: КолосС, 2003. 320 с.
10. Вильдфуш И.Р., Малашевская О.В. Влияние макро-, микроудобрений, регуляторов роста и ризобияльного инокулянта на урожайность и качество семян посе-

- ного гороха // Почвоведение и агрохимия. 2018. № 1 (60). С. 228–237.
11. Агрохимия / Б.А. Ягодин, П.М. Смирнов, А.В. Петербургский и др. Изд. 2-ое, перераб. М.: Агропромиздат, 1989. 639 с.
12. Завалин А.А., Алметов Н.С., Чернова Л.С. Эффективность использования минеральных удобрений и биопрепаратов в зернотравяных севооборотах // Агрохимия. 2014. № 9. С. 35–47.
13. Шелганов И.И. Органические удобрения в севооборотах Центрально-Черноземной зоны: Автореф. дис. ... докт. сельск. наук. М., 1996. 47 с.
14. Храмов И.Ф. Приемы рационального применения минеральных и органических удобрений на черноземных почвах Западной Сибири / Матер. Всерос. научно-метод. конф. Географической сети опытов с удобрениями. М.: ВНИИА, 2006. С. 88–91.
15. Небытов В.Г. Влияние фосфорных удобрений, навоза и их длительного последствие на устойчивость озимой ржи к неблагоприятным погодным условиям // Агрохимия. 2005. № 2. С. 27–32.
16. Волынкин В.И., Волынкина О.В. Сравнительное действие минеральных и органических удобрений на выщелоченных черноземах Западной Сибири // Плодородие. 2014. № 4 (79). С. 17–19.
17. Мерзлая Г.Е. Биологические факторы в системах удобрения // Агрохимия. 2017. № 10. С. 24–36.
18. Шаповалова Н.Н., Годунова Е.И. Последствие 30-летнего применения минеральных удобрений на продуктивность чернозема обыкновенного Центрального Предкавказья // Плодородие. 2019. № 1 (106). С. 11–14.
19. Шаповалова Н.Н., Шустикова Е.П., Ворopaева А. Влияние длительного внесения минеральных удобрений на продуктивность полевого севооборота в прямом действии и последствии // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 2. С. 11–14.
20. Ионина Н.В., Волынкина О.В., Копылов А.Н. Влияние удобрений на урожайность зерновых культур полевых севооборотов в северо-западной зоне Курганской области // Агрохимия. 2019. № 9. С. 26–36.
21. Жиленко С.В., Сычѳв В.Г. Эффективность системы удобрения озимых зерновых культур на выщелоченном черноземе // Плодородие. 2015. № 2 (83). С. 8–10.
22. Влияние различных систем обработки почвы и удобрения на плодородие почвы и урожайность озимой пшеницы / А.А. Романенко, В.М. Кильдюшкин, А.Г. Солдатенко, Е.Г. Животовская // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 3. С. 26–29.

Поступила в редакцию 20.07.2021  
После доработки 06.09.2021  
Принята к публикации 25.09.2021