

ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ПОЛЕВЫХ СЕВОБОРОТОВ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЗОНЕ КУРГАНСКОЙ ОБЛАСТИ¹

© 2019 г. Н. В. Ионина¹, О. В. Вольнкина^{1,*}, А. Н. Копылов¹

¹Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения РАН
620142 Екатеринбург, ул. Белинского, 112а, Россия

*E-mail: kniish@ketovo.zaoral.ru

Поступила в редакцию 13.11.2018 г.

После доработки 17.12.2018 г.

Принята к публикации 13.06.2019 г.

Исследовано влияние состава и 3 дозы азота полного минерального удобрения на продуктивность зернопаропропашного севооборота в северо-западной зоне Курганской обл. Показана более высокая эффективность ежегодно примененных минеральных удобрений в сравнении с действием 40 навоза 40 т/га, внесенного в паровое поле. Установлено, что в посеве 1-й пшеницы после пара необходимо только применение фосфорного удобрения, определена наиболее высоко оплачиваемая доза – P20. В следующих полях эффективным было азотно-фосфорное или полное минеральное удобрение. Повышение доз азота было оправдано не во всех полях севооборота. Экономически оно было эффективным в посеве кукурузы. Установлено, что по мере увеличения дозы азота дополнительный рост прибавки урожайности зерновых культур не сопровождался ростом прибыли.

Ключевые слова: удобрения, урожайность зерновых культур, полевой севооборот, северо-западная зона Курганской обл.

DOI: 10.1134/S0002188119090059

ВВЕДЕНИЕ

Курганская обл. по почвенно-климатическим условиям делится на зоны. Лучшие условия увлажнения растений создаются в северо-западной зоне области. В этой зоне на опытном поле в с. Мальцево сохранены самые длительные (с 1968 г.) стационары, в которых ведут исследования систем обработки почвы (опыт 1) и применения удобрений (опыт 2). Эксперименты были заложены на Шадринской сельскохозяйственной опытной станции, которой 35 лет (1950–1985) руководил Т.С. Мальцев. С 2010 г. станция присоединена к Курганскому НИИСХ в качестве лаборатории им. Т.С. Мальцева. Исполнителями

опытов большую часть лет были Б.Н. Собянин, П.З. Собянина, В.Б. Собянин, О.Б. Собянина, с 2011 г. – Н.В. Ионина. Руководителем опыта 2 с 2011 г. является А.Н. Копылов.

Материалы исследований, проведенных в рамках этих опытов, неоднократно печатались [1–4]. В настоящей статье, посвященной сравнению разных систем удобрения в зернопаропропашном севообороте (опыт 2), результаты наблюдений и учетов не повторяют имеющиеся публикации.

Подбор системы удобрения в севооборотах с паром основывается на принципе учета естественных почвенных ресурсов питания растений. Важно сделать более эффективным использование природного ресурса, которым является естественное накопление азота в паровом поле. Этого количества иногда хватает на урожай 1-й и 2-й пшеницы после пара. Более полным использование этого ресурса оказывается при применении фосфорного удобрения, если почва бедна подвижным фосфором [5]. При закладке опытов было обнаружено низкое и среднее количество подвижного фосфора в почве. В истории ведения

¹ Исследование выполнено в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования по направлению № 0773-2019-00279 (черным) 142 Программы ФНИ государственных академий наук по теме “Усовершенствовать систему адаптивно-ландшафтного земледелия для Уральского региона и создать агротехнологии нового поколения на основе минимизации обработки почвы, диверсификации севооборотов, интегрированной защиты растений, биологизации, сохранения и повышения почвенного плодородия и разработать информационно-аналитический комплекс компьютерных программ и баз данных, обеспечивающий инновационное управление системой земледелия”.

Таблица 1. Агрохимическая характеристика почвы при закладке опытов (слой 0–20 см, 1968, 1969, 1971 гг.)

Год, горизонт, см	Гумус	Общий азот	Валовой фосфор	P ₂ O ₅ (по Чирикову)	K ₂ O (по Бровкиной)	pH _{KCl}	Ca + Mg, мг-экв/100 г
	%			мг/100 г			
1968, 0–20	6.48	0.314	0.118	5.4	14.0	6.2	36.9
1969, 0–20	7.33	0.339	0.153	6.1	13.4	6.2	34.9
1971, 0–20	6.18	0.308	0.145	5.7	12.7	5.8	39.9

опыта дозы фосфора для 1-й пшеницы после пара были равны P30 в 1968–1978 гг. и P60 в 1979–2002 гг. Доза P60 не отвечала ресурсосбережению при средней оплате удобрений урожаем 3.5 кг/кг. Об этом свидетельствовало постепенное снижение эффектов от внесения новых порций фосфора. Например, средние прибавки урожайности 1-й пшеницы после пара в варианте РК в 3–7-й ротациях при внесении P60 составили: 5.0, 3.4, 3.8, 1.6 и –0.5 ц/га. Поэтому в 2003–2010 гг. стали использовать последнее действие суперфосфата, а с 2011 г. начали вносить дозу P20 локально до посева.

По мере применения суперфосфата почва обогатилась подвижным фосфором. Несмотря на достаточно большую ширину делянки (6.5 м) за счет работ по обработке почвы, осуществляемой поперек делянок, произошел перенос почвы удобрённых делянок на контрольные. Недостаток подобного проведения обработки почвы отмечен и другими исследователями [6]. Как уже упоминалось, на 8 лет прекратили вносить суперфосфат. Основываясь на принципах адаптивно-ландшафтного подхода к решениям о выборе системы удобрения, необходимо было узнать, как удобрять культуры при более высоком содержании подвижного фосфора в почве. Для этого с 2011 г. схему опыта обновили. Особенное внимание было уделено изменению способа внесения удобрений, поскольку он существенно меняет эффект применения удобрения [7]. Равномерный разбросной способ внесения удобрений заменен локальным врезанием гранул сеялкой СЗ-3,6 перед посевом. При испытании 3-х доз азота и выборе оптимальной из них опирались на диагностику условий азотного питания [8, 9] и экономическую оценку их эффективности [10].

Цель работы – поиск оптимальных доз минеральных удобрений в зернопаропропашном и зернопаровом севооборотах в северо-западной зоне Курганской обл. и их экономическая оценка.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В 50-летнем опыте лаборатории им. Т.С. Мальцева Курганского НИИСХ оценены системы удобрения в севообороте пар–пшеница–пшеница–кукуруза (в 2001–2012 гг. – овес)–пшеница. Пятипольный севооборот был заложен в 3-х полях за 3 года (1968, 1969 и 1971 гг.). Почва – выщелоченный чернозем среднемощный среднегумусный тяжелосуглинистый. Агрохимическая характеристика почвы дана в табл. 1.

Дозы удобрений в схеме опыта во времени изменялись. Сначала применяли P30K20 в первом посеве и N30P30K20 – в остальных, позднее дозы были увеличены соответственно до P60K30 и N60P40K30. Повышение сделано в расчете на то, что появились сорта интенсивного типа. Калий перестали вносить с 2001 г., фосфор – в период 2003–2010 гг. Поэтому в таблицах с многолетними данными показано средневзвешенное количество примененных удобрений, в конкретных примерах наблюдений за почвой и растениями – фактически внесенные дозы. Общая площадь делянки 221 м² (6.5 × 34 м), учетная 68.3 м² (2.28 × 30 м), повторность трехкратная. Осенью проводили безотвальную обработку почвы, замененную с 2011 г. поверхностной. В конце 10-й ротации был осуществлен переход на 4-польный севооборот: пар и 3 пшеницы. Применяли удобрения: N_{аа}, P_{сд} (позднее – АФ) и K_х. В навозе содержалось: азота – 0.67, P₂O₅ – 0.47 и K₂O – 0.60%. Полуперепревший навоз вносили по 1999 г. в опыте 2/69, по 2003 г. – в опыте 2/68 и по 2006 г. – в опыте 2/71. В течение 1968–2010 гг. в опытах практиковали равномерное разбросное внесение удобрений, требующее их своевременной заделки, что не всегда организационно удавалось. С 2011 г. ввели локальный способ врезания гранул до посева дисковой сеялкой. Посев культур севооборота вели после предпосевной обработки почвы, зерновых – сеялками СЗ-3,6, СЗП-3,6 или посевным комплексом “Кузбасс”, кукурузы – СКТН-6. Высевали сорта пшеницы Курганская 1, Вера, Новосибирская 89, Исеть 45, гибриды кукурузы Молдавский, Краснодарский 432, Краснодарский 47, сорта овса Золотой дождь,

Таблица 2. Содержание нитратного азота в слое 0–50 см почвы, кг/га

Вариант системы удобрения/Год	1977	1982	1987	1992	1997	2002
Перед посевом яровой пшеницы после кукурузы (овса), опыт 2/68						
Контроль	10	19	14	16	19	15
Навоз 40 т/га	14	16	18	17	24	21
P40–60K30	9	16	13	17	16	11
N60K30	17	19	16	24	46	12
N60P40K30	15	25	17	24	28	14
N90P40K30	15	29	24	27	43	19
N*60–120P40K30	12	78	35	24	60	27
Перед посевом кукурузы (овса), опыт 2/69						
Контроль	8	20	8	22	15	14
Навоз 40 т/га	13	22	14	38	18	17
P40–60K30	6	17	8	16	19	15
N60K30	8	18	7	17	15	15
N60P40K30	8	22	8	19	16	15
N90P40K30	7	22	14	24	41	18
N*60–120P40K30	11	25	18	29	30	28
Перед посевом яровой пшеницы после пара, опыт 2/71						
Контроль	68	74	44	62	42	48
Навоз 40 т/га	61	74	51	73	57	71
P40–60K30	58	68	36	66	56	54
N60K30	62	98	41	61	62	60
N60P40K30	72	61	26	46	73	59
N90P40K30	78	76	44	75	96	63
N*60–120P40K30	72	185	137	90	94	100

*Под пшеницу после пара азот вносили только в отмеченном варианте, в других азот оказывал последствие на рост пшеницы после пара; меньшую из пар указанных доз азота вносили под 1-ю пшеницу после пара, фосфора – большую.

Скакун, Сельма. Учет урожая зерновых вели комбайном СК-4, позднее – Сампо-500 с отбором образца для определения влажности и чистоты зерна. Урожай зеленой массы кукурузы определяли скашиванием растений вручную с площадки 21 м² (1.4 × 15) и взвешиванием зеленой массы.

В опытах наблюдали за содержанием нитратного азота в слое 0–50 см почвы и подвижного фосфора в слое 0–20 см, за накоплением пшеницей сухого вещества в фазы роста. Определяли вынос N, P₂O₅ и K₂O зерном и соломой пшеницы. Анализировали содержание клейковины в зерне. Сделана экономическая оценка влияния удобрений на урожайность и качество зерна пшеницы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние удобрений на количество подвижных питательных веществ в почве. Выщелоченный чернозем на опытах в с. Мальцево в сравнении с

черноземом на Центральном опытном поле Курганского НИИСХ отличался меньшим накоплением нитратного азота, даже в паровом поле, что объясняется недостатком тепла в северо-западной зоне. В табл. 2 приведены результаты за разные годы опыта в 3-х полях севооборота. Наименьшим содержанием нитратного азота отличалось поле перед посевом кукурузы (овса) и после него, наибольшим – после пара. Внесение азотного удобрения способствовало повышению количества нитратного азота в полуметровом слое почвы. Из доз азота на накопление нитратов в почве сильнее воздействовала 3-я доза – N60 после пара и N120 в остальных полях. Действие N_{aa} на азотный режим почвы и накопление азота растениями было значительно сильнее, чем навоза, при дозе которого 40 т/га на каждый посев приходилось по 8 т/га.

Для слоя 0–40 см почвы установлена шкала обеспеченности нитратным азотом. Если в почве

Таблица 3. Влияние удобрений на содержание подвижного фосфора (по Чирикову) в слое 0–20 см почвы в паровых полях (опыт 2/68), мг/кг

Система удобрения	Ротация			
	4-я	5-я	6-я	7-я
	1983 г.	1988 г.	1993 г.	1998 г.
Контроль	54	56	54	74
Навоз 40 т/га	52	52	53	81
P40–60*К30	65	81	79	124
N60K30	43	51	45	60
N60P40K30	72	65	93	104
N60–120P40K30	80	87	93	113

*P60 вносили после пара, P40 – в остальных полях.

ко времени посева накопилось <25 кг N-NO₃/га, то потребность в азотном удобрении очень высокая, 25–50 – высокая, 50–75 – средняя и >75 – низкая [8, 9]. Средние данные, представленные в табл. 2, дали возможность разделять участки по величине содержания нитратного азота, а его количество за отдельные годы было не всегда надежным показателем. Большинство показателей свидетельствовало, что после пара вносить азот не надо, что и подтвердилось в варианте его применения.

Наличие нитратного азота весной не всегда соответствовало полученной урожайности пшеницы в силу разной интенсивности текущей нитрификации. Например, содержание нитратного

азота в слое 0–50 см почвы перед посевом кукурузы 10 мая 1976 г. во всех вариантах было равно 28–33 кг/га. Через 50 сут, 30 июня, когда частично азот был уже потреблен кукурузой, этот показатель в вариантах контроль, навоз, НК, NPK повысился до 33, 40, 72, 76 кг/га соответственно. Подвижного калия в почве опытного поля было достаточно. При внесении K_x его содержание (по Бровкиной) увеличивалось с 12–13 до 17–19 мг/100 г. Содержание подвижного фосфора (по Чирикову) под влиянием удобрений заметнее всего возрастало в вариантах применения фосфорного удобрения (табл. 3).

Накопление сухого вещества пшеницей в фазы роста. Средние данные за годы опыта о накоплении сухого вещества пшеницей за период вегетации не показывают особенности влияния погодных условий на этот процесс. Нарастание массы растений отличалось в связи с местом пшеницы в севообороте, условиями вегетации и системой удобрения. Например, сравним ход накопления сухого вещества пшеницей после пара во влажном 1994 г., когда за май–август выпало 305 мм осадков. Температура воздуха за эти месяцы составила 12,7, 19,6, 16,8 и 16,3°C, что свидетельствовало о недостатке тепла. За счет хороших условий увлажнения количество сухого вещества к фазе колошения в вариантах достигло 27–43 ц/га (табл. 4).

Таблица 4. Накопление сухой массы 1-й и 2-й пшеницей (опыт 2/68), ц/га

Вариант	Кушение	Выход в трубку	Колошение	Полная спелость	
				зерно	солома
1-я пшеница, 1994 г.					
Контроль	4.4	7.1	27.0	18.5	27.1
Навоз 40 т/га	4.9	10.6	28.4	22.1	26.1
P60K30	4.9	7.7	38.3	20.6	25.7
K30 ПN60*	4.9	12.4	42.1	16.9	24.8
P60K30 ПN60	6.7	11.2	32.6	16.7	21.4
P60K30 ПN90	5.8	9.7	33.4	23.8	30.4
N60P60K30 + ПN120	10.1	9.7	42.8	25.5	36.7
2-я пшеница, 1995 г.					
Контроль	7.5	12.0	24.5	16.5	24.6
Навоз 40 т/га	6.5	15.0	22.8	13.8	20.4
P60K30	6.2	13.5	25.6	11.9	17.8
N60K30	4.8	13.6	27.1	16.7	22.3
N60P60K30	11.1	18.2	34.4	19.4	24.2
N90P60K30	11.5	20.6	29.0	26.5	33.4
N120P60K30	9.2	18.8	34.2	30.6	39.1

*П – для 1-й пшеницы после пара: последствие азота, примененного в следующих полях, в последнем варианте – действие азота, внесенного под пшеницу после пара.

Таблица 5. Накопление сухой биомассы 1-й и 2-й пшеницей (опыт 3/71), ц/га

Вариант	Кущение	Выход в трубку	Колошение	Полная спелость	
				зерно	солома
1-я пшеница, 1982 г.					
Контроль	5.8	15.1	35.4	35.7	50.5
Навоз 40 т/га	9.8	21.3	39.9	40.7	53.1
P60K30	8.7	18.0	38.0	33.5	49.4
K30 ПN60*	4.9	13.6	36.6	36.1	47.9
P60K30 ПN60	7.7	18.6	47.7	37.2	50.5
P60K30 ПN90	7.9	22.4	50.4	39.7	53.9
N60P60K30+ ПN120	10.2	17.6	56.7	51.4	58.1
2-я пшеница, 1983 г.					
Контроль	3.4	6.3	22.2	9.2	20.7
Навоз 40 т/га	5.5	10.5	32.2	13.7	23.4
P60K30	4.0	6.3	20.4	9.8	19.8
N60K30	5.7	8.5	30.8	19.6	40.7
N60P60K30	6.5	10.9	32.8	19.9	35.3
N90P60K30	5.9	14.6	48.0	22.6	40.7
N120P60K30	6.1	18.3	57.3	25.3	48.3

*Для 1-й пшеницы: П – последствие азота, примененного в следующих полях, в последнем варианте – действие азота, внесенного под пшеницу после пара.

В следующем 1995 г. при посеве 2-й пшеницы после пара осадков выпало меньше – 134 мм. При благоприятном их распределении в первые фазы роста в мае–июне (19.7 и 53.2 мм) темпы накопления сухого вещества в первой половине вегетации были даже больше, чем в предыдущем посеве, но в июле дождей выпало мало (22.4 мм), поэтому к колошению была набрана меньшая биомасса растений, чем в посеве 1-й пшеницы. В варианте РК она была почти на уровне контроля, т.к. 2-й культуре после пара требуется улучшение азотного питания. Урожайность пшеницы в этом поле мало уступала 1-й культуре после пара. Причиной были излишние осадки предыдущего года, вызвавшие полегание и снижение урожайности 1-й пшеницы после пара против ее обычного уровня.

Насколько благоприятные погодные условия способствуют активному нарастанию биомассы растений и более полному использованию удобрений, можно видеть по данным в опыте 2/71. Сумма осадков за май–август в 1982 г. составила 243 мм при температурах воздуха в мае, июне и июле 11.8, 16.6 и 18.3°C. При близкой сумме осадков за май–август (298 мм), но холодном мае (8.1°C), что отрицательно повлияло на азотный режим почвы и растений, и более жарком лете ($t_{06-07} = 17.2$ и 20.2°C) следующего года 2-я культу-

ра после пара накопила меньшую биомассу сухого вещества (табл. 5).

Действительно, обращаясь к данным об условиях азотного питания 1-й и 2-й пшеницы, отметили различия в пользу 1-й культуры после пара. Теплый и влажный год парования (1981 г.) и теплый май 1982 г. стимулировали накопление нитратного азота в полуметровом слое до 74 кг/га в контроле и 185 кг/га в варианте применения азотного удобрения после пара и самой высокой дозы азота в остальных полях. Иными были условия питания в следующем году в посеве 2-й культуры после пара. После высокого урожая 1-й пшеницы при холодном мае 1983 г. количество нитратного азота в слое 0–50 см почвы в этих 2-х вариантах составило 15 кг/га.

Вынос элементов питания зерном пшеницы. Знание о величине выноса питательных веществ пшеницей в определенной мере способствует обоснованному выбору оптимальных доз удобрений. В 1994 г. в связи с переувлажнением периода вегетации зерно пшеницы после пара содержало всего 1.62% азота в контроле и 1.71% в варианте РК. На фоне последствия азота количество азота повысилось до 2.01 и до 1.97% в варианте, где под 1-ю пшеницу после пара вносили полное минеральное удобрение. В 1995 г. при недостатке влаги в июле зерно было богаче азотом: 1.77% в

Таблица 6. Содержание N, P₂O₅ и K₂O в зерне пшеницы (% на абсолютно сухое вещество) и вынос элементов питания (опыт 2/68, 1994, 1995 гг.), кг/га

Вариант	Содержание, %			Абсолютно сухой урожай зерна, ц/га	Вынос зерном, кг/га		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Пшеница после пара, 1994 г.							
Контроль	1.62	0.93	0.55	15.9	25.8	14.8	8.7
Навоз 40 т/га	1.66	0.83	0.53	19.0	31.5	15.8	10.1
P60K30	1.71	0.97	0.64	17.7	30.3	17.2	11.3
PN60 + K30	1.57	0.82	0.53	14.5	22.8	11.9	7.7
PN60 + P60K30	2.01	0.97	0.59	14.4	28.9	14.0	8.5
PN90 + P60K30	1.89	0.90	0.53	20.5	38.7	18.4	10.9
N60P60K30 + PN120	1.97	0.88	0.53	21.9	43.1	19.3	11.6
2-я пшеница после пара							
Контроль	2.00	0.78	0.39	14.2	28.4	11.1	5.5
Навоз 40 т/га	1.87	0.75	0.39	11.9	22.2	8.9	4.6
P40K30	1.66	0.86	0.41	10.2	16.9	8.8	4.2
N60K30	2.08	0.56	0.33	14.4	30.0	8.1	4.8
N60P60K30	1.86	0.70	0.39	16.7	31.1	11.7	6.5
N90P40K30	2.20	0.63	0.33	22.8	50.2	14.4	7.5
N120P40K30	2.47	0.63	0.33	26.3	65.0	16.6	8.7

контроле и 1.86–2.47% в вариантах применения азотных удобрений. Вынос зерном азота, фосфора и калия составил 26–43, 15–19 и 9–11 кг/га в посеве 1-й пшеницы после пара, 2-й пшеницы – соответственно 28–65, 11–16 и 5–9 кг/га (табл. 6).

Вынос элементов питания соломой 1-й пшеницы после пара при содержании в ней 0.31–0.49% азота равнялся 8–18 кг/га, P₂O₅, содержащегося в пределах 0.18–0.24%, – 4.8–8.9 кг/га и K₂O, количество которого в соломе было равно 0.88–1.01%, – 24–37 кг/га. В соломе 2-й пшеницы содержалось 0.2–0.4% азота, 0.06–0.10% P₂O₅ и 1.09–1.25% K₂O. Вынос элементов в вариантах менялся: азота – 4–15, фосфора – 1–4 и калия – 19–48 кг/га.

Авторами одного из обобщений обсуждаемых материалов [11] для 7-ми ротаций был подсчитан средний вынос элементов питания 4-мя культурами севооборота. В контроле для азота он в сумме составил 172 кг/га при распределении по 4-м культурам: 66, 39, 33 и 34; 240, в варианте N54PK – 73, 57, 57 и 53 и 308, при внесении N70PK – 84, 70, 79 и 75 кг/га. Вынос азота на фоне повышенной дозы N70 существенно возрастал.

Вынос фосфора равнялся соответственно 65 (22, 15, 15, 13), 88 (26, 22, 22, 18) и 97 (28, 26, 24 и 19) кг/га. Суммарно за 7 ротаций вынос фосфора в контроле составил 450, на фоне PK – 494 и NPK –

620 в кг/га при дозах внесения фосфора в этих 3-х вариантах, равных 0, 1085 и 1085 кг/га. Баланс отрицательным был только в контроле. Баланс фосфора равнялся –450, +591 и +465 кг/га. Важно, чтобы приведенные в этом случае изменения выноса элементов питания соответствовали адекватному увеличению урожайности.

Урожайность пшеницы. Были обобщены данные урожайности пшеницы и других культур севооборота за 1968–2017 гг. в 3-х закладках опыта. Для каждого из 4-х посевов они включали по 29–30 дат за 10 ротаций севооборота. При средней урожайности 1-й пшеницы после пара за 10 ротаций 22.4 ц/га за счет изменчивости погодных условий отмечено сильное варьирование урожайности по годам. Например, в контроле (без удобрения) урожайность 1-й пшеницы изменялась от 8.8 до 34.1 ц/га. В этом поле севооборота более высокое влияние на формирование урожайности пшеницы оказывали навоз и фосфорно-калийные удобрения, добавление азота к РК дополнительно повышало прибавку на 0.8 ц/га (табл. 7).

У 2-й культуры после пара проявилась высокая потребность в азоте. Поэтому при применении минеральных удобрений с включением азота прибавка урожайности пшеницы была высокой. Дальнейшее увеличение прибавки при применении 2-х следующих доз после N54 было несоразмерно ее повышению в 1.3–1.7 раза. Урожайность

2-й пшеницы после пара также варьировала соответственно обеспеченности растений влагой. В 8-й ротации (2004–2010 гг.) повторилось несколько засушливых и сухих лет, в результате сбор зерна снизился до 5–11 ц/га.

Пшеница после кукурузы или овса еще сильнее отзывалась на удобрение, включавшее азот. Наибольшие прибавки урожайности зерна получены в 3-й (12–19 ц/га) и в 10-й (10–13 ц/га) ротациях. Зависимость прироста урожайности пшеницы после кукурузы от погодных условий в течение вегетации выражалась в варьировании прибавок от отрицательных величин в сухие годы до 10–19 ц/га в лучших по увлажнению условиях. В среднем азотно-калийное удобрение дало прирост урожайности 6.7 ц/га, полное минеральное (N54PK) – 7.7 ц/га. При использовании более высоких доз азота прибавка последовательно увеличивалась всего на 1 ц/га.

Кукуруза высоко отзывалась на азотное удобрение со средним приростом сбора зеленой массы в вариантах 65–136 ц/га. Увеличение дозы азота в полном минеральном удобрении оказалось оправданным, т.к. предельные прибавки при повышении дозы были больше наименьшей существенной разницы в опыте. У овса хорошо развивается корневая система, эта культура способна довольно полно использовать естественные запасы питания. Поэтому после прибавки его урожайности 8.5 ц/га в варианте N54K17 далее они оставались на близком уровне (табл. 8).

Надо отметить, что высокие прибавки урожайности пшеницы в 2013–2017 гг. более стабильными стали не только в связи с благоприятными погодными условиями, но и с улучшением способа применения удобрений. Роль способа их внесения выявлена по результатам, взятым отдельно за период с 2013 г., когда удобрения стали врезать и перешли на 4-польный севооборот пар + 3 пшеницы. Из 7-ми лет взято 5 лет, не учитывая 2-х лет вхождения в новый севооборот и измененную схему опыта (табл. 9).

Окупаемость удобрения P20 в посевах пшеницы после пара была равна 18 кг/кг. В посевах, удаленных от пара, 1 кг азота оплачивался 14–17 кг зерна. Оплата 1 кг д.в. дозы удобрения N60P20 составила 14–15 кг зерна, N30P20 (ранее – N70PK) – 17–23 и N30P20 на фоне самой высокой ранее внесенной дозы – 23–26 кг/кг.

Качество зерна пшеницы. За счет пара выращивают не только высокие урожаи, но более стабильно достигается 3-й класс качества зерна пшеницы. Анализ содержания клейковинных белков в зерне пшеницы в разных полях севооборота по-

Таблица 7. Влияние удобрений на урожайность пшеницы в севообороте (1968–2017 гг., среднее 3-х закладок опыта)

Вариант	Урожайность		Прибавка	
	ц/га			
	среднее	размах	среднее	размах
1-я пшеница после пара				
Контроль	22.4	8.8–34.1**	–	–
Навоз в пару 40 т/га	25.2	10.9–40.9	3.8	–1.3–6.8
P37K17	24.5	9.5–39.1	2.1	–0.5–5.0
PN60K17	23.0	10.8–34.7	0.6	–1.6–2.0
PN60P37K17	24.4	11.9–38.6	2.0	–0.4–4.5
PN70P37K17	25.6	13.1–41.2	3.2	0.6–7.1
N60*P37K17+ + PN93	26.4	18.2–42.3	4.0	0.5–9.4
<i>HCP</i> ₀₅ , ц/га	1.2–1.9			
2-я пшеница после пара				
Контроль	12.3	6.9–30.1	–	–
Навоз в пару 40 т/га	15.9	8.2–22.5	2.5	1.3–4.5
P28K17	12.3	6.4–23.8	0.5	–0.8–3.7
N54K17	17.1	11.2–31.4	5.8	0.4–11.5
N54P28K17	19.1	10.5–36.2	7.8	0.4–16.7
N70P28K17	20.3	12.0–30.0	8.0	5.6–15.3
N93P28K17	21.9	15.0–35.8	9.6	4.5–16.0
<i>HCP</i> ₀₅ , ц/га	1.7–2.4			
Пшеница после кукурузы				
Контроль	11.4	5.1–18.6	–	–
Навоз в пару 40 т/га	13.2	6.5–21.1	1.8	–0.4–3.5
P28K17	11.3	4.8–19.0	–0.1	–0.8–2.1
N54K17	18.1	6.7–28.8	6.7	1.6–10.2
N54P28K17	19.1	6.1–29.2	7.7	2.0–14.0
N70P28K17	20.3	6.5–26.3	8.9	1.4–18.5
N93P28K17	21.4	6.5–31.9	10.0	1.4–19.5
<i>HCP</i> ₀₅ , ц/га	1.9–2.7			

*Только в отмеченном варианте азот вносили после пара, в других вариантах с азотом он оказывал последствие (П).

**Большие изменения урожайности из-за погодных условий (ГТК_{5–8} менялся от 0.49–0.63 до 1.89–2.29) даже 1-й пшеницы после пара; коэффициенты вариации урожайности в этом поле в вариантах в порядке их размещения в таблице равнялись (%): 34.8, 31.6, 33.1, 31.0, 31.8, 30.4 и 28.0.

казал, что более высоким оно было в 1-м поле после пара. В других полях удобрения, содержащие азот, существенно повышали повторяемость принадлежности зерна 3-му классу качества по годам опыта. Особенно ощутимо азот повышал частоту

Таблица 8. Влияние удобрений на урожайность зеленой массы кукурузы (15 посевов) и зерна овса (14 посевов)

Вариант	Урожайность		Прибавка	
	среднее	размах	среднее	размах
ц/га				
Кукуруза (1969–1996 гг.)				
Контроль	189	133–261	–	–
Навоз в пару 40 т/га	229	154–327	40	21–66
P28K17	190	132–255	1	–1...–6
N54K17	254	184–368	65	51–107
N54P28K17	264	214–407	75	81–146
N70P28K17	298	210–448	109	77–187
N93P28K17	325	242–463	136	109–202
HCP ₀₅ , ц/га			28	
Овес (1997–2012 гг.)				
Контроль	11.8	7.3–17.1	–	–
Навоз в пару 40 т/га	14.0	9.9–20.2	2.2	2.6–3.1
P28K17	12.7	8.3–19.2	0.9	1.0–2.1
N54K17	20.3	9.8–30.1	8.5	2.5–13.0
N54P28K17	20.8	9.0–31.6	9.0	1.7–14.0
N70P28K17	21.1	10.2–28.8	9.3	2.9–11.7
N93P28K17	20.8	10.2–29.4	9.0	2.9–12.3
HCP ₀₅ , ц/га			5.0	

проявления 3-го класса в посеве пшеницы после кукурузы (табл. 10).

Экономическая эффективность. Уровень качества пшеницы определяет цену зерна. В Курган-

ской обл. в начале уборочных работ в 2018 г. сложились следующие цены на пшеницу (руб./ц): 3-й класс – 793, 4-й – 708 и 5-й – 629. Учитывая цены 2018 г. и разную повторяемость 3-го класса качества в опыте (2 раза содержание клейковины в 3-м поле снижалось до 5-го класса и 4 раза в 5-м поле), можно рассчитать средневзвешенные цены зерна в вариантах. Стоимость зерна 1-й пшеницы после пара равнялась 781 руб./ц в контроле и 784–790 руб./ц в удобренных вариантах. В посеве 2-й пшеницы после пара цены были меньше – 770 и 776 руб./ц. В связи с меньшей частотой получения зерна 3-го класса пшеницы после кукурузы еще меньше оказались и средневзвешенные цены на зерно, особенно в контроле – 747 руб./ц, повышаясь при применении азотного удобрения до 767–776 руб./ц (табл. 11).

Затраты на всю технологию возделывания культур севооборота были подсчитаны следующим образом. На безотвальную обработку почвы в течение 43 лет и на поверхностную в 7-летний период расходы составили 884 и 588 руб./га, с весенним боронованием – 1077 и 601 руб./га соответственно. Средневзвешенные затраты на эти 2 приема в севообороте – 1010 руб./га. Подготовка пара, состоявшая из 5-ти летних культиваций, стоящих 2940 руб./га, отнесена на 1-ю культуру после пара. Поэтому в 1-м поле сумма затрат на обработку почвы была равна 3950 руб./га и в следующих 3-х посевах – по 1010 руб./га. На семена и посев, уход за посевами тратили 4663 руб./га. Затраты на удобрение 1–4-й культур после пара, как и на уборку, изменялись в зависимости от полей севооборота и вариантам опыта (табл. 12).

Таблица 9. Эффективность удобрений в 2013–2017 гг. при системе поверхностной обработки почвы (урожайность в контроле и ее прибавки при применении удобрений, ц/га)

Система удобрения в 1-м поле после пара	1-я культура после пара	Система удобрения во 2–4-м полях после пара	Культура после пара		
			2-я	3-я	4-я
Контроль	30.5	Контроль	18.6	15.6	15.4
П*Навоза 40 т/га	1.7	Навоз П*	1.6	1.6	1.5
P20	3.6	P20	0.9	1.5	2.8
PN60	–0.4	N60	8.7	10.5	8.9
PN60P20	3.1	N60P20	11.3	11.7	11.8
PN30P20	2.0	N30P20	8.6	11.4	11.6
П*N30P20	2.6	N30P20**	13.1	13.1	11.7
HCP ₀₅ , ц/га	1.7		2.3	2.9	1.9

*П – последствие навоза или азота, который под 1-ю пшеницу не вносили, но проявлял последствие на следующих культурах, уменьшающее эффект от фосфора.

**В отмеченном варианте определенное время будет проявляться последствие самой высокой дозы азота, примененной ранее в севообороте.

Таблица 10. Влияние удобрений на содержание клейковины в зерне пшеницы в разных полях севооборота (1968–2017 гг.)

Система удобрения		Содержание клейковины в зерне, %			Частота 3-го класса качества, % лет		
		культура					
в 1-м поле после пара	в 3-м и 5-м полях севооборота	1-я после пара	2-я после пара	после кукурузы	1-я после пара	2-я после пара	после кукурузы
Контроль	—	27.6	25.6	23.9	87	79	58
Навоз в пару 40 т/га	—	28.3	26.3	24.8	90	79	66
P37K17	P28K17	27.2	25.4	24.2	90	79	59
PN54K17	N54K17	28.9	27.3	26.3	93	86	76
PN54P37K17	N54P28K17	29.0	26.8	25.9	93	83	76
PN70P37K17	N70P28K17	29.1	27.4	26.4	97	86	83
N54*P37K17 + PN93	N93P28K17	29.2	28.1	25.9	97	86	86

*Азот после пара вносили только в отмеченном варианте, в других он оказывал последствие (П). То же в табл. 11.

Таблица 11. Влияние удобрений на стоимость пшеницы в разных полях севооборота (1968–2017 гг.)

Вариант	Цена зерна, руб./ц	Урожайность, ц/га/Стоимость, руб./га	Вариант	Цена зерна		Урожайность, ц/га/Стоимость	
				руб./ц		руб./га	
	1-я культура после пара			культура			
			2-я после пара	после кукурузы	2-я после пара	после кукурузы	
Контроль	781	22.4/17494	Контроль	770	747	12.3/9471	11.4/8516
Навоз 40 т/га	784	25.2/19757	—	770	753	14.9/11473	13.2/9940
P37K17	784	24.5/19208	P28K17	770	747	12.3/9471	11.5/8590
K17 ПН	787	23.0/18101	N54K17	776	767	17.1/13270	18.1/13883
P37K17 ПН	787	24.4/19203	N54P28K17	773	767	19.2/14842	19.1/14650
PN70P37K17	790	25.6/20224	N70P28K17	776	776	20.3/15753	20.3/15753
N54*P37 K17 + ПН93	790	26.4/20856	N93P28K17	776	778	21.9/16994	21.4/16649

Таблица 12. Сумма затрат на технологию в разных полях севооборота (1968–2017 гг.), руб./га

Система удобрения	Обработка почвы		Семена и посев	Удобрение		Уход за посевами	Уборка		Всего	
	1-я пшеница	другие поля		1-я пшеница	другие поля		1-я пшеница	другие поля	1-я пшеница	другие поля
Контроль	3950	1010	3347	—	—	1316	2332	1272	10945	6945
P37–28*K17	3950	1010	3347	3356	2834	1316	2544	1590	14513	10097
N0–54K17	3950	1010	3347	510	3630	1316	2438	1272	11561	10575
N0–54P37–28K17	3950	1010	3347	3356	5254	1316	2544	1908	14513	12835
N0–70P37–28K17	3950	1010	3347	3356	5990	1316	2650	2014	14619	13677
N60–93P37–28K17	3950	1010	3347	6286	7030	1316	2756	2120	17655	14733

*Первые дозы для 1-й пшеницы после пара, вторые – для остальных полей.

Таблица 13. Экономическая эффективность технологий возделывания пшеницы в 3-х полях севооборота (1968–2017 гг.)

Система удобрения	Стоимость урожая		Затраты		Прибыль		Рентабельность, %	
	руб./га							
	1-я пшеница	другие поля	1-я пшеница	другие поля	1-я пшеница	другие поля	1-я пшеница	другие поля
Контроль	17494	8993	10945	6945	6549	2048	60	29
P37–28*K17	19208	9030	14513	10097	4695	–1067	32	–10
N0–54K17	18101	13576	11561	10575	6540	3001	56	28
N0–54P37–28K17	19203	14746	14513	12835	4690	1911	32	15
N0–70P37–28K17	20224	15753	14619	13677	5605	2076	38	15
N60–93P37–28K17	20856	16822	17655	14733	3201	2089	18	14

*Первые дозы для 1-й пшеницы после пара, вторые – для остальных полей.

Для 3-х посевов пшеницы сопоставлены стоимость урожая и затраты. Рентабельность технологии с применением фосфорно-калийного удобрения под 1-ю культуру после пара была на уровне 32%, она снижалась до 18%, если под пшеницу после пара вносили и азотное удобрение. В следующих полях азотно-калийное удобрение существенно увеличивало прибыль до 3001 руб./га с рентабельностью 28%. С добавлением фосфора прибыль была меньше –1911 руб./га при рентабельности 15%. Сравнение действия 3-х доз азота в полном минеральном удобрении показало незначительный рост прибыли после варианта с дозой азота N54 (табл. 13).

ВЫВОДЫ

1. Наблюдения за накоплением пшеницей сухого вещества показали ход формирования ее урожая. Для более полного использования примененных удобрений требуется достаточное увлажнение как в 1-й, так и во 2-й половине вегетации. Недостаток осадков в июле нивелировал положительное влияние удобрений на биомассу сухого вещества пшеницы, проявленное в начале вегетации, и снижал сбор зерна.

2. Вынос питательных веществ зерном и соломой пшеницы свидетельствовал об определенной потребности растений в элементах питания, что помогало подбирать оптимальные дозы удобрений. Средний для культур севооборота вынос фосфора в пределах 13–28 кг/га не соответствовал применению завышенной дозы P60 в один из периодов опыта.

3. В северо-западной зоне Курганской обл. на тяжелосуглинистом выщелоченном черноземе в зернопаропропашном севообороте применение фосфорно-калийного удобрения при первона-

чальном содержании в почве подвижного P₂O₅ 50–60 мг/кг способствовало его увеличению до 67–85 мг/кг и оказывало положительное действие только на урожайность пшеницы после пара (2-е поле севооборота). Установлена оптимальная доза фосфора P20, окупаемость которой в благоприятные годы достигала 18 кг/кг. В целом за 50 лет опыта при изменении по годам доз фосфора P30–60–0–20 и калия K20–30–0 средневзвешенная доза составила P37K17, при применении которой рентабельность технологии возделывания 1-й пшеницы после пара за весь период опыта равнялась 32%.

4. В 3-м и 5-м полях севооборота было эффективным применение под пшеницу азотно-калийного удобрения N54K17 и далее одного азота в дозе N54, которое оценено рентабельностью технологии 28%. Прибавки урожайности в 3-м и 5-м полях в этом варианте были на уровне 6 и 7 ц/га. С добавлением фосфора к азоту полное минеральное удобрение обеспечивало рост прибавки урожайности на 1–2 ц/га. Применение полного минерального удобрения N54PK было более оправдано в посеве 2-й пшеницы после пара.

5. Увеличенные в 1.3–1.7 раза дозы азота по отношению к дозе N54 положительно влияли на урожайность кукурузы. На зерновых культурах они были экономически менее эффективными, т.к. дополнительно давали 1–2 ц/га зерна. Повышенные дозы представляют интерес, если требуется улучшение качества зерна, т.к. они существенно повышали частоту получения зерна пшеницы 3-го класса.

6. Качество зерна пшеницы отличалось в зависимости от полей севооборота с большим преимуществом 1-й культуры после пара. Повторяемость качественных показателей зерна пшеницы в соответствии требованиям к 3-му классу каче-

ства варьировала в зависимости от полей севооборота и вариантов. Уровень качества зерна формирует цену пшеницы. У 1-й пшеницы после пара стоимость зерна равнялась 781 руб./ц в контроле и 784–790 руб./ц в удобренных вариантах. В посеве 2-й пшеницы после пара цены были меньше – 770 и 776 руб./ц. В связи с меньшей частотой проявления 3-го класса качества зерна пшеницы после кукурузы еще меньшими оказались и средневзвешенные цены зерна, особенно в контроле – 747 руб./ц и повышались при применении азотного удобрения до 767–776 руб./ц.

7. Содержание нитратного азота в почве можно использовать для объяснения полученных результатов, но оно также рекомендуется и в целях диагностики условий азотного питания, что не всегда надежно. При благоприятных условиях увлажнения и температуре воздуха в начале вегетации происходила более интенсивная текущая нитрификация. Поэтому иногда при невысоком содержании нитратного азота в почве весной за счет текущей нитрификации формируется высокий урожай. Применение шкалы диагностики условий азотного питания оказывается успешным только при применении средних весенних показателей содержания нитратного азота в разных полях севооборота. Следовательно, при распределении удобрений в полях севооборота надо больше полагаться на установленные в опытах закономерности, чем на величину содержания нитратного азота в почве в отдельные годы севооборота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глухих М.А., Собянин В.Б., Собянина О.Б. Плодородие черноземов и его динамика / Под ред. Глухих М.А. Челябинск: ЧГАА, 2010. 300 с.
2. Глухих М.А., Калганова Т.С., Собянина О.Б. Динамика содержания азота в выщелоченном черноземе при длительном внесении удобрений // Земледелие. 2009. № 7. С. 18–19.
3. Глухих М.А., Собянин В.Б., Калганова Т.С. Динамика плодородия черноземов Зауралья в связи с длительностью и характером использования их в пашне // Освоение адаптивно-ландшафтных систем и агротехнологий на целинных землях. Мат-лы Международ. научн.-практ. конф., посвящ. 55-летию освоения целинных и залежных земель и 75-летию Челябинского НИИСХ РАСХН. 2009. С. 107–115.
4. Глухих М.А., Калганова Т.С. Динамика фосфора в почвах Зауралья // АПК России. 2015. Т. 72. № 2. С. 125–134.
5. Шафран С.А. Влияние типа почв и содержания в них подвижных фосфатов на эффективность фосфорных удобрений // Агрохимия. 2015. № 3. С. 26–33.
6. Сокорев Н.С. Влияние антропогенных факторов на содержание подвижного фосфора пахотных почв юго-западной части ЦЧЗ // Агрохимия. 2006. № 11. С. 66–73.
7. Семенов В.М., Соколов О.А. Баланс азота в системе почва–растение и способы его регулирования // Регулирование плодородия почв, круговорота и баланса питательных веществ в земледелии СССР. Пушкино, 1981. С. 146–151.
8. Кочергин А.Е., Гамзиков Г.П. Эффективность азотных удобрений в черноземной почве Сибири // Агрохимия. 1972. № 6. С. 3–10.
9. Кочергин А.Е. Потребность растений в азотных удобрениях // Научные тр. СибНИИСХоз. Омск, 1973. Т. 5(20). С. 33–37.
10. Шустикова Е.П., Шаповалова Н.Н. Азотный режим чернозема обыкновенного и продуктивность сельскохозяйственных культур в последствии различных доз азотных удобрений // Агрохимия. 2014. № 2. С. 20–25.
11. Глухих М.А., Калганова Т.С. Динамика азота в почвах Зауралья // Вестн. ЧГАА. 2015. Т. 71. С. 118–125.

Influence of Fertilizers on the Yield of Grain Crops in Field Crop Rotations in North-Western Zone of the Kurgan District

N. V. Ionina^a, O. V. Volynkina^{a, #}, and A. N. Kopylov^a

^aUral Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the RAS
ul. Belinskogo 112a, Ekaterinburg 620142, Russia

[#]E-mail: kniish@ketovo.zaoral.ru

The influence of the composition and 3 doses of nitrogen of complete mineral fertilizer on the productivity of grain-crop rotation in the North-Western zone of the Kurgan region was studied. The higher efficiency of annually applied mineral fertilizers in comparison with the action of 40 manure of 40 t/ha introduced into the steam field was shown. It is shown that in the sowing of the 1st wheat after steam only the use of phosphorus fertilizer is necessary, the highest paid dose – P20 is determined. In the following fields, nitrogen-phosphorus or total mineral fertilizer was effective. Increasing doses of nitrogen was not justified in all fields of crop rotation. It was cost-effective in sowing corn. It was found that as the dose of nitrogen increased, the additional increase in the yield of grain crops was not accompanied by an increase in profits.

Key words: fertilizers, grain yield, field crop rotation, North-Western zone of Kurgan region.