

УДК 631.452:526.32:631.559:633.1

РОЛЬ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ И СОРТА В ПОВЫШЕНИИ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

© 2024 г. С. А. Шафран¹*, Е. С. Козеичева¹¹Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д. Н. Прянишникова
127550 Москва, ул. Прянишникова, 31а, Россия

*E-mail: shafran38@mail.ru

Представлен обзор публикаций, посвященных изучению влияния минеральных удобрений на урожайность различных сортов зерновых культур на различных почвах. При этом особое внимание уделено оценке долевого участия различных факторов на формирование их урожайности. Установлено, что наибольший вклад в формирование урожайности приходится на почвенное плодородие, который на дерново-подзолистых высококультурных почвах составил в зависимости от доз азота и сорта 68–90%, а долевое участие азотных удобрений менялось от 10 до 32%. Коэффициент вариации между сортами по величине урожайности находился в пределах 16–20%. Прирост урожайности озимой пшеницы от внесения азота в сравнении со стандартным сортом Заря варьировал от 64 до 146%. В опыте ВНИПТИХИМ, где было испытано 33 сорта озимой пшеницы и 17 сортов ярового ячменя, долевое участие фактора плодородия почвы в формировании урожая озимой пшеницы составило 81–82, ярового ячменя – 83–89%, вклад сорта соответственно – 6, 13 и 6%. На черноземе обыкновенном его участие в формировании урожайности озимой пшеницы несколько превышало показатели дерново-подзолистых почв, а также вклад удобрений, несмотря на внесение более высоких доз минеральных удобрений. Варьирование урожайности в зависимости от сорта составило 5–6%. В опыте на черноземе выщелоченном, который характеризовался средней агрохимической окультуренностью, наиболее продуктивный сорт озимой пшеницы показал урожайность в 2 раза меньше, чем у ранее рассмотренных сортов.

Ключевые слова: плодородие почв, сорт, урожайность, вклад факторов.

DOI: 10.31857/S0002188124020105

ВВЕДЕНИЕ

Мировая статистика свидетельствует о том, что в последние годы на долю минеральных удобрений приходится 40% прироста производства продовольствия. По данным ФАО [1] потребление минеральных удобрений в мире достигло почти 200 млн т. Это не случайно, поскольку среди основных факторов повышения урожайности (сорт, средства защиты растений и др.) главным остается применение удобрений и химических мелиорантов. Об этом убедительно свидетельствует опыт мирового земледелия. Вместе с тем имеются и иные соображения. Ряд отечественных ученых считает, что в современной земледелии сорт выступает как самостоятельный фактор повышения урожайности наряду с технологией выращивания, имеет большое значение для получения высоких и устойчивых урожаев [2–4]. Более того, они полагают, что если раньше вклад технологии и сорта в реализацию урожая составляли равные величины, то в настоящее время сорт выходит на первый план [5]. В то же время они не отрицают положительного влияния на урожайность удобрений, отводя основное значение азотным, полагая, что азотное питание зерновых культур является главным

фактором, определяющим величину их урожайности. Недостаток азота для злаковых культур приводит к угнетению фотосинтетической деятельности растений [6, 7], ослаблению кущения и образованию меньшего количества зерен в колосе [8]. С учетом биологических особенностей культуры применение оптимальных доз азотных удобрений позволяет наиболее эффективно использовать питательные вещества и получать урожаи зерна, близкие к запланированным [9–11]. При этом доза азота будет иметь первостепенное значение [13].

Запас азота в почве оказывает существенное влияние на ростовые процессы и эффективность азотных удобрений [14, 15]. Чем больше концентрация азота в почве, тем больше поступает его в растения и включается в обмен азотистых веществ, усиливая тем самым интенсивность процессов, связанных формированием урожая и синтезом запасных белков. С увеличением содержания минерального азота в почве урожайность пшеницы повышается, а действие азотных удобрений снижается [16, 17]. Исследованиями М.П. Чуб [18] показано, что в благоприятных гидротермических условиях на почвах с достаточным содержанием азота яровая пшеница способна обеспечить урожайность зерна

на высоком уровне без внесения удобрений. Однако на почвах с низким естественным плодородием, в зонах умеренно холодного климата или при недостаточном увлажнении важнейшим рычагом интенсификации земледелия выступают именно удобрения [19].

За период научной селекции в Центральном регионе Нечерноземной зоны произошло несколько этапов сортосмены, что позволило сделать мощный скачок в повышении урожайности зерновых культур. Например, одним из достижений в селекции озимой пшеницы было в Центральной части Нечерноземья доведение потенциальной урожайности озимой пшеницы, районированной в 1930-е гг., с 36 до 76 ц/га к началу тысячелетия [5] (табл. 1).

Безусловно, это большое достижение института, и его работа в данном направлении продолжается. Вместе с тем необходимо отметить, что авторы ничего не говорят об условиях, при которых получены приведенные результаты. Речь идет в первую очередь о внесении удобрений, и каков был уровень почвенного плодородия, т.е. какими агрохимическими свойствами характеризовались поля, где испытывали данные сорта. Об этом ничего не сказано, и это затрудняет сделать достоверную оценку полученным результатам.

В связи с тем, что в конце прошлого столетия усилились работы по выведению новых сортов зерновых культур, появился интерес к изучению отзывчивости

вновь выведенных сортов на применение минеральных удобрений. По мере включения в сортоиспытание новых, более перспективных сортов расширились исследования по выявлению их отзывчивости на минеральные удобрения. В этот же период в нашей стране резко снизилось применение удобрений и для того, чтобы не уменьшить производство зерновой продукции, селекционеры стали усиленно пропагандировать внедрение в производство новых сортов зерновых культур, мотивируя это возможностью получения высоких урожаев. Однако практика показала, что потенциал этих сортов реализуется только на 30–40% в условиях производства, что вызвано нарушениями технологии их возделывания [20]. Вполне возможно, что подобные факты имеют место, но основная причина заключается в том, что поля, на которых были выведены и испытаны высокоурожайные сорта, и поля сельскохозяйственных предприятий сильно различаются по уровню плодородия.

Возьмем, например, сорта озимой пшеницы МосНИИСХ, которые характеризуются урожайностью 10 т/га и больше. Испытание этих сортов было проведено на дерново-подзолистых почвах, в которых содержание подвижного фосфора составляло 220–497 мг/кг, т.е. было высоким и очень высоким, и подвижного калия – 113–196 мг/кг. На такой почве урожайность сорта Московская 39 составила в среднем за 10 лет 5.1 т/га,

Таблица 1. Достижения селекции озимой пшеницы в Центральном районе Нечерноземной зоны [5]

Годы районирования	Сорт	Урожайность, ц/га	
		сортов	в среднем за период
1930-е	Московская 2453	35.4	36.0
	Эритроспермум 917	36.3	
1950-е	ППГ-599	44.2	45.0
	ППГ-186	44.9	
	Мироновская 808	55.8	
1970-е	Заря	53.1	55.0
	Янтарная 50	55.4	
	Памяти Федина	65.0	
1990-е	Немчиновская 25	65.1	65.0
	Немчиновская 95	65.8	
	Инна	64.8	
	Лютесценс 110/98	77.8	
	Лютесценс 248/97	74.1	
2000–2001	Лютесценс 786/99	74.1	76.0
	Эритроспермум 228/00	74.4	
	Эритроспермум 356/00	78.6	
	Эритроспермум 245/00	77.5	

Таблица 2. Урожайность сортов озимой пшеницы и вклад факторов в ее формирование (среднее за 1998–2007 гг.), т/га

Сорт	Вариант			Вклад в урожайность, %		
				почва	сорт	
	N0	N60	N120	N120	N60	N120
Эритроспермум 917	3.1	3.8	3.6	86	78	64
ППГ 599	3.5	3.8	3.8	92	78	68
Мироновская 808	4.0	4.9	5.4	74	100	79
Заря	4.3	4.9	5.6	77	100	100
Инна	5.1	5.7	6.8	75	116	121
Памяти Федины	5.4	6.1	7.2	75	124	129
Московская 39	5.1	5.9	6.7	76	120	120
Галина	5.5	6.6	7.5	73	135	134
Немчиновская 24	5.6	7.1	8.2	68	145	146
Московская 56	5.7	6.5	7.0	81	133	125
Немчиновская 57	5.6	6.3	7.0	80	129	125
Лютесценс 33	4.9	6.3	7.2	68	129	129
Эритроспермум 377	5.2	5.8	6.7	78	118	120
Эритроспермум 281	4.7	5.4	6.6	71	110	118
Коэффициент вариации, %	16	17	20			

Таблица 3. Группировка почв по степени агрохимической окультуренности

Степень окультуренности	рН _{KCl}	Содержание в почве, мг/кг					
		N _{мин}		P ₂ O ₅		K ₂ O	
		1	2	1	2	1	2
Низкая	≤4.5	≤5	≤10	≤50	≤15	≤80	≤200
Средняя	4.6–5.5	5.1–10.0	11–20	51–100	16–30	81–120	201–300
Повышенная	> 5.5	> 10	> 20	> 100	> 30	> 120	> 300

Примечание. В графе 1 – некарбонатные, 2 – карбонатные почвы.

сортов Галина – 5.5, Немчиновка 24–5.6 и Московская 56–5.7 т/га в варианте без внесения удобрений [21]. Внесение азотных удобрений позволило увеличить сбор зерна в зависимости от дозы и сорта до 7.0 т/га (табл. 2).

При анализе представленных данных возникает вопрос, за счет чего получена довольно высокая урожайность и какой из представленных факторов внес наиболее существенный вклад в формирование урожайности озимой пшеницы. Известно, что на урожайность сельскохозяйственных культур оказывает влияние множество факторов. Среди них тип почвы, реакция почвенной среды, содержание минерального азота, подвижных форм фосфора и калия в почвах и дозы удобрений. Все перечисленные факторы находятся во взаимодействии и могут оказывать как положительные, так и в отдельных случаях отрицательное действие. Обобщение большого количества экспериментальных данных позволило разработать соответствующие модели и подготовить их табличную интерпретацию, что дает

возможность оценить влияние плодородия различных почв по комплексу агрохимических свойств на урожайность сельскохозяйственных культур.

Для лучшего восприятия материала данные агрохимической характеристики почв по отдельным показателям были объединены в группы в зависимости от степени окультуренности [22] (табл. 3).

Используя обобщенные данные [23], были разработаны нормативы влияния агрохимической окультуренности почв на их вклад в формирование урожайности озимой пшеницы на основных типах почв России (табл. 4).

Способ установления вклада почвы в формирование урожайности была получена путем сопоставления величины урожайности, полученной в контрольном варианте (без удобрений), с вариантами, где удобрения вносили. Урожайность, полученная в контрольном варианте, принимали за 100%. Следовательно, в вариантах

Таблица 4. Влияние окультуренности почв на их вклад в формирование урожайности озимой пшеницы, %

Почвы	Окультуренность почв								
	низкая			средняя			средняя		
	Дозы азота, кг/га								
	30	60	90	30	60	90	30	60	90
Центральный федеральный округ									
Дерново-подзолистые	58	55	54	65	62	61	82	80	79
Серые лесные	69	65	65	78	76	75	87	14	85
Черноземы выщелоченные	77	73	73	85	82	82	91	89	89
Черноземы типичные	69	66	66	80	79	78	92	91	91
Черноземы обыкновенные	79	77	76	85	83	83	94	94	93
Южный и Северо-Кавказский федеральные округа									
Черноземы обыкновенные и южные	77	74	74	87	86	85	89	88	87
Черноземы карбонатные	85	83	83	89	88	87	94	93	92
Каштановые	85	82	82	92	91	91	96	96	95
Приволжский федеральный округ									
Серые лесные	71	66	66	83	80	80	91	90	89
Черноземы выщелоченные	81	77	77	88	88	86	93	92	91

с внесением удобрений вклад почвенного плодородия должен был составлять <100%, т.к. определенное количество урожая будет получено за счет удобрений. Поступив таким образом, были получены данные о вкладе плодородия почв и удобрений в получении определенной величины урожайности озимой пшеницы.

Для оценки влияния сорта на урожайность сравнивали данные, полученные для сорта, который был принят за стандарт. В случаях отсутствия такового сравнение делали относительно сорта с наименьшей продуктивностью.

Кроме того, для сравнения сортовых особенностей в формировании урожайности был использован такой показатель как коэффициент вариации, полагая, что чем больше этот коэффициент, тем большее влияние оказывает фактор сорта на урожайность.

Разумеется, такой метод не является идеальным, но все-таки позволяет осуществить оценку действия азота на урожайность в тех случаях, когда это не представляется возможным выполнить на основании экспериментальных данных, т.к. в подавляющем большинстве опытов испытание сортов проводят на почвах с одинаковыми агрохимическими свойствами. Вполне понятно, что при этом возможность оценить одновременно вклад почвенного плодородия и сорта отсутствует, и поэтому приходится прибегать к косвенным методам. Такой подход был использован впервые ЦИНАО при оценке экономической эффективности примененных удобрений в условиях производства и был обоснован в дальнейшем на более современной научной основе [22].

Согласно полученным данным, установлено, что с увеличением степени окультуренности почв по агрохимическим показателям возрастает вклад плодородия почв в формирование урожайности озимой пшеницы на всех изученных типах почвенных разновидностей, при более высокой дозе азота незначительно понижается долевое участие почвы в продукционном процессе.

Таким образом, возвращаясь к данным табл. 2, видим, что основной вклад в формирование урожайности озимой пшеницы вносило почвенное плодородие. Без внесения удобрений он составил 77–92%. При внесении удобрений долевое участие плодородия несколько снизилось, но все-таки оставалось высоким и было близким к нормативу, представленному в табл. 4. Поскольку в тот период за стандарт был принят сорт Заря, то его приняли за основу при установлении вклада в формирование урожайности озимой пшеницы. Расчеты показали, что вклад сорта был достаточно существенным, но не превышал доли плодородия и высокой дозы азотных удобрений.

Серия подобных опытов была проведена ВНИИПТИХИМ с большим набором сортов озимой пшеницы и ярового ячменя. Исследования проводили на дерново-подзолистой почве Московской обл. государственной сортоиспытательной станции, расположенной в Одинцовском р-не Московской обл. Почва опытного участка характеризовалась очень высоким содержанием подвижных форм фосфора и калия. Всего было испытано 33 сорта озимой пшеницы и 17 сортов ярового ячменя в течение 2001–2004 гг. [24].

Для того, чтобы не загромождать описание, сорта были сгруппированы по величине полученной урожайности. К первой группе отнесены сорта озимой

Таблица 5. Влияние сорта и азотного удобрения на урожайность зерновых культур, возделываемых на дерново-подзолистой почве (среднее за 2001–2004 гг.), ц/га

Вариант	Урожайность		Прибавка урожайности		Вклад фактора плодородия почвы в урожай, %	Вклад фактора сорт в урожай, %
	ц/га					
	без удобрений	N35	от азота	от К		
Озимая пшеница						
Стандарт (сорт Заря)	44.0	54.2	10.2	–	81	–
I группа	50.2	62.3	12.1	1.9	81	13
II группа	46.4	57.2	10.8	0.6	81	6
III группа	41.3	50.6	9.3	–0.9	82	–6
Коэффициент вариации, %	9	9				
Ячмень яровой						
Стандарт (сорт Раушан)	33.8	39.5	5.7	–	89	–
I группа	33.0	39.7	6.7	1	83	–2
II группа	32.5	36.9	7.1	1.4	88	–4
Коэффициент вариации, %	5	6				

пшеницы, урожайность которой без внесения удобрений составила 49–52 ц/га и превышали стандарт (сорт Заря) на 4.8–7.7 ц/га, во вторую включены сорта с урожайностью 45–48 ц/га, в третью – сорта с урожайностью <45 ц/га. Данные урожайности ярового ячменя были распределены между 2-мя группами. Под все сорта были внесены азотные удобрения в дозе 35 кг/га (табл. 5).

Результаты исследования показали, что азотные удобрения оказались эффективными для всех сортов, и это позволило получить средний урожай в первой группе >60, во второй – 57.3, в третьей – 50.9 ц/га. Сорта ярового ячменя также хорошо отзывались на внесение азота, но при этом урожайность и прибавка урожая составляли меньшую величину. Долевое участие плодородия почвы в формировании урожайности озимой пшеницы составило 81–82%, ярового ячменя – 83–89%, из этого следует, что пшеница лучше использовала питательные вещества почвы и удобрений по сравнению с ячменем. Если учесть урожай, полученный при возделывании сорта Заря, принятого за стандарт, то вклад фактора сорт в формирование урожайности озимой пшеницы для первой и второй групп составит соответственно 6 и 13, третьей группы – 6%.

При аналогичном подходе к оценке вклада фактора сорт ярового ячменя в формировании урожайности видно, что испытанные сорта не оказали влияния на продуктивность этой культуры. Низкие коэффициенты вариации свидетельствовали о том, что в данных опытах вклад сорта в формирование урожайности был невысоким.

Несколько позднее были испытаны новые сорта селекции НИИСХ ЦРИЗ (ныне ФИЦ “Немчиновка”), но на полях не этого НИИ, а на полях опытного хозяйства ВНИИА. Исследования проводили совместно обоими учреждениями на дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах, которые по уровню плодородия несколько отличались. Они характеризовались средним содержанием подвижного фосфора и повышенным – калия. Дозы удобрений устанавливали по методике ВНИИА в расчете на различные уровни урожайности. В связи с тем, что почва опытного участка была хуже обеспечена подвижным фосфором, особое внимание было уделено внесению фосфорных удобрений. В меньшей степени это касалось калийных удобрений, а дозы азота устанавливали и контролировали на основе диагностического обследования посевов [25].

Результаты исследования выявили высокую эффективность применения минеральных удобрений практически для всех изученных сортов и селекционных линий озимой пшеницы. Наибольший сбор зерна получен от селекционной линии Отбор из Лютеценс 982/08 и составил 85.4 ц/га при наиболее высокой дозе минеральных удобрений. Прибавка урожая от удобрений была очень высокой (табл. 6).

Вклад почвенного плодородия в формирование урожайности озимой пшеницы в зависимости от сорта при наименьшей дозе удобрений менялся от 66 до 72%. По мере увеличения доз удобрений снижалось долевое участие плодородия почв в урожае и возрастала роль удобрений в этом производственном процессе. Прирост урожая от внесения N210P110K74 почти приблизился

Таблица 6. Отзывчивость сортов озимой пшеницы селекции ФИЦ “Немчиновка” на минеральные удобрения (среднее за 2018–2019 гг.)

Сорт	Дозы удобрений			
	N0P0K0	N90P46K31	N150P76K54	N210P110K74
Урожайность, ц/га				
Московская 39	40.1	56.0	66.4	68.3
Московская 40	39.4	55.2	57.0	61.7
Московская 56	37.8	53.3	71.1	71.2
Немчиновская 85	38.0	56.9	66.3	71.1
Лютесценс 216/17	38.2	56.8	61.7	64.0
Лютесценс 982/28	37.9	57.0	66.5	69.7
Отбор из Лютесценс 982/08	42.6	64.0	75.8	85.4
Прибавка урожайности, ц/га				
Московская 39	—	15.9	26.3	28.2
Московская 40	—	15.8	17.6	22.3
Московская 56	—	15.5	33.3	33.4
Немчиновская 85	—	18.9	28.3	33.1
Лютесценс 216/17	—	18.6	23.5	25.8
Лютесценс 982/28	—	19.1	28.6	31.8
Отбор из Лютесценс 982/08	—	21.4	33.3	42.8
Вклад почвенного плодородия в урожай, %				
Московская 39	100	72	60	59
Московская 40	100	71	69	64
Московская 56	100	71	53	53
Немчиновская 85	100	67	57	53
Лютесценс 216/17	100	67	62	60
Лютесценс 982/28	100	66	57	54
Отбор из Лютесценс 982/08	100	67	56	50

Примечание. Содержание в почве: P₂O₅—96, K₂O — 172 мг/кг.

к величине урожайности, полученной в контроле, а для селекционной линии Отбор Лютесценс 982/08 был равным.

Сравнение этих данных с теми, которые представлены в табл. 4, говорит о том, что при внесении под озимую пшеницу N90 на дерново-подзолистой средне-окультуренной почве ее вклад в формирование урожайности составлял 61%, т.е. был близким к нормативам.

Подобные исследования проведены на черноземе обыкновенным в Донском зональном НИИСХ в 2003–2005 гг. на почве с низким содержанием подвижного фосфора [26]. В этом опыте впервые была изучена отзывчивость 15-ти сортов озимой пшеницы на азотные и фосфорные удобрения. В этом опыте представлялась возможность изучить действие различных доз NP на урожайность озимой пшеницы, размещенной после парового предшественника, и оценить долевое участие факторов в формировании ее урожайности. Представленные данные свидетельствуют о том, что сорта положительно отзывались на внесение удобрений.

Для всех сортов отмечено увеличение урожайности от внесения удобрений в более высокой дозе (табл. 6). Вместе с тем уместно отметить, что прирост урожая на черноземе обыкновенном был значительно меньше того, что получен на дерново-подзолистых почвах. Урожайность составила в среднем при дозе N90P50 91, при дозе N180P160 — 86%. Приняв данные урожайности сорта Тарасовская остистая за стандарт, видим, что вклад фактора сорт в величину урожая составил в варианте без внесения удобрений от 1 до 27, при дозе N90P50 — от 5 до 12 и при дозе N_{180P100} — от 2 до 17%. Коэффициент вариации составил 5–6%.

Подобные исследования проведены в многолетнем стационарном опыте Брянского государственного аграрного университета, а также на государственных сортоиспытательных участках Стародубского и Дубровского р-ов Брянской обл. с сортами Московская 56 и Немчиновская 57 [27].

Эти исследования выполнены в течение 2013–2016 гг. на серой лесной среднесуглинистой почве,

сформированной на лессовидных карбонатных суглинках. Почва опытного участка хорошо окультуренная, с содержанием гумуса 3.7% (по Тюрину), характеризуется очень высокой обеспеченностью подвижными формами фосфора (P_2O_5) – 300 мг/кг (по Кирсанову) и высоким содержанием подвижного калия (K_2O) – 261 мг/кг почвы (по Кирсанову), реакция почвенного раствора слабокислая (pH_{KCl} 5.6).

За годы исследований во всех вариантах технологий средняя урожайность зерна сорта Немчиновская 57 была больше, чем сорта Московская 56. В вариантах с биологизированной технологией урожайность зерна сорта Немчиновская 57 составила 3.35, сорта Московская 56 – 2.99 т/га. Наибольшую разницу между сортами наблюдали в вариантах с биологизированной технологией.

Изучена также сортовая отзывчивость яровой пшеницы на минеральное питание на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве [28]. Исследования проводили в 2009–2011 гг. на опытном поле “Тушково” учебного хозяйства БГСХА с яровой пшеницей сортов Тома и Сабина. Почва опытного участка по годам исследований имела слабокислую и близкую к нейтральной реакцию почвенной среды (pH_{KCl} 5.9–6.2), низкое и недостаточное содержание гумуса (1.41–1.58%), повышенное содержание подвижного фосфора (172–242 мг/кг), среднюю и повышенную обеспеченность подвижным калием (176–212 мг/кг).

Результаты исследований показали, что за счет естественного плодородия в контрольном варианте без внесения удобрений урожайность зерна яровой пшеницы сорта Сабина в среднем за 3 года исследований была на 2.0 ц/га больше, чем сорта Тома, которая составила 29.4 ц/га.

Приведенные выше данные по изучению эффективности различных сортов озимой пшеницы получены на полях научно-исследовательских институтов, и поэтому почвы экспериментальных полей характеризовались высокой окультуренностью и содержанием питательных веществ в доступной для растений формах. В связи с этим вызывает определенный интерес результаты исследований, полученные на полях менее окультуренных. Такие опыты проведены в работе [29] в СПК “Красная звезда” Исакинского р-на Самарской обл. Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднemosный с содержанием гумуса 4.6%, pH 6.7, содержание нитратного азота, определенное перед внесением удобрений, составляло 2.5–13.8 мг/кг, подвижных форм фосфора и калия – соответственно 53–96 и 61–123 мг/кг. Исследования проведены в течение 2002–2005 гг. с 4-мя сортами озимой пшеницы селекции Самарского НИИСХ им. Н. М. Тулайкова: Безенчукская 380, Малахит, Лютесценс 661 и Поволжского НИИСХ им. П. Н. Константинова: Лютесценс 2860.

Из испытанных сортов озимой пшеницы лучше всех проявил себя сорт Безенчукская 380, показавший самую

высокую урожайность, а также значительный прирост урожая от азотных удобрений (табл. 7).

Окупаемость азота удобрений прибавкой урожая озимой пшеницы также существенно варьировала между сортами и во многих случаях превышала 10 кг/кг, тогда как норматив, разработанный для лесостепной зоны Поволжья, составляет только 4.8 кг/кг [30].

По годам исследований урожайность сортов озимой пшеницы также была подвержена большим изменениям. В 2002 г. лучшие результаты были получены для сортов Безенчукская 380 и Лютесценс 661, в неблагоприятном по погодным условиям 2003 г. – для Безенчукской 380, в 2004 г. выделялись сорта Малахит и Безенчукская 380, в 2005 г. – Безенчукская 380 и Лютесценс 661 (табл. 8).

Вынос питательных веществ надземной частью озимой пшеницы заметно отличался в зависимости от сорта и варианта, величина которого определялась урожайностью озимой пшеницы и содержанием элементов питания в зерне и соломе.

Одной из важных характеристик сорта является величина выноса питательных веществ 1 т основной продукции с учетом побочной, т.к. эти показатели служат основной расчёта доз удобрений. Проведенные исследования показали, что удельный вынос азота и калия также заметно варьировал между сортами. Если у сорта Малахит в контроле вынос азота составил 19.8 кг/т, то у Лютесценс 2860 – 26.0 кг/т, у сорта Безенчукская 380 – 30 кг/т. За счет внесения карбамида существенно возрос вынос азота практически у всех испытанных сортов. Сильнее других реагировали на применение азота сорта Малахит и Безенчукская 380.

Для калия выявлены большие различия между сортами. Наименьший вынос этого элемента отмечен у сортов Малахит и Безенчукская 380, наибольший – у Лютесценс 2860, отличающимся более широким соотношением зерно: солома. В целом вынос калия оказался значительно меньше нормативного. Это можно объяснить тем, что нормативы были разработаны более 20 лет назад, т.е. для других сортов и, следовательно, с другим соотношением зерно: солома. В последние годы ведется селекция с целью получения низкостебельных сортов зерновых культур и, видимо, это отразилось на выносе калия, т.к. основное количество этого элемента концентрируется в соломе. В испытанных сортах соотношение побочной и основной продукции менялось от 0.68 до 0.98, тогда как при разработке нормативов оно составляло 1.4 [30].

В работе [31] изучено влияние различных доз и сроков внесения азотных удобрений на урожайность и качество различных районированных сортов озимой пшеницы на типичном черноземе Тамбовской обл. Исследования проводили в Тамбовском НИИСХ.

Почва опытного участка – чернозем типичный, мощный с содержанием: гумуса – 6.2–7.8%,

Таблица 7. Урожайность озимой пшеницы и долевое участие факторов в ее формирование на черноземе обыкновенном (среднее за 2003–2005 гг.)

Сорт	Урожайность, ц/га			Вклад в формирование урожая, %				
	Без удобрений	N90P50	N180P100	плодородие		сорт		
				N90P50	N180P100	Без удобрений	N90P50	N180P100
Тарасовская остистая	36.8	39.6	42.9	93	86	100	100	100
Престиж	38.1	41.4	43.9	92	87	104	105	102
Родник тарасовский	40.8	43.4	47.5	94	86	111	110	111
Северодонецкая юбилейная	38.8	43.0	45.7	90	85	105	109	107
Донская безостая	41.6	45.2	46.9	92	89	113	114	109
Ермак	43.7	48.5	49.6	90	88	119	122	116
Дон-95	39.6	46.5	48.9	85	81	108	117	114
Лира	46.7	48.0	49.5	97	94	127	121	115
Дея	40.8	43.9	45.0	93	91	111	111	105
Августа	37.1	41.2	44.4	90	84	101	104	103
Росинка тарасовская	40.7	44.1	48.0	92	85	111	111	112
Зерноградка-9	39.3	41.8	46.5	94	85	107	106	108
Донская юбилейная	40.4	46.5	49.8	87	82	110	117	116
Победа-50	37.0	42.3	46.1	87	80	101	107	107
Крошка	42.2	48.0	50.4	88	83	115	121	117
Коэффициенты вариации, %	6	6	5					

Таблица 8. Эффективность азотной подкормки озимой пшеницы на черноземе выщелоченном (среднее за 2002–2004 гг.)

Дозы азота, кг/га	Сорта			
	Малахит	Безенчукская-380	Лютесценс-2860	Лютесценс-661
Урожайность, ц/га				
0	15.2	19.4	12.0	13.6
30	20.5	24.3	11.9	17.7
60	21.6	27.7	15.1	18.4
90	23.1	—	14.2	19.1
Прибавка урожая, ц/га				
30	5.3	4.9	—	4.1
60	6.4	8.3	3.1	4.8
90	7.9	—	3.2	5.5
Вклад плодородия почвы на формирование урожайности, %				
0	100	100	100	100
30	74	80	100	77
60	70	70	79	74
90	66	—	58	71
Вклад удобрений в формирование урожайности, %				
30	26	20	0	23
60	30	30	21	26
90	34	—	15	29

Таблица 9. Влияние азотных удобрений на урожайность озимой пшеницы, возделанной на черноземе типичном (среднее за 2010–2012 гг.)

Вариант	Урожайность, ц/га		Прибавка урожая, ц/га	
	Московская 39	Губернатор Дона	Московская 39	Губернатор Дона
Без удобрений	18.1	28.2	–	–
P40K40 (фон)	19.2	29.8	1.1	1.6
Ф + N45 в	22.8	32.9	4.7	4.7
Ф + N90 ос	25.6	36.0	7.5	7.8
Ф + N135	23.1	32.7	5.0	4.5
Ф + N180	21.4	30.9	3.3	2.7

Примечание. Содержание в почве: P₂O₅–8.3, K₂O – 14.9 мг/кг.

Таблица 10. Вынос питательных веществ 1 т урожая зерна с учетом соломы (среднее за 2010–2012 гг.), кг

Вариант	Московская 39			Губернатор Дона		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без удобрений	33.8	12.2	20.7	28.5	10.5	20.3
P ₄₀ K ₄₀ (фон)	32.9	12.4	21.4	28.7	11.0	19.5
Ф + N45 в	35.3	12.2	22.0	29.3	10.7	21.4
Ф + N90 ос	36.3	12.8	22.5	30.6	11.3	21.1
Ф + N135	37.2	12.8	23.6	31.1	11.1	21.4
Ф + N180	38.4	13.3	24.2	31.5	11.2	23.7

Примечание. Норматив для лесостепной зоны Центрально-Черноземного района: N – 22.6.

pH_{KCl} 5.4–6.1, содержание нитратного азота, определенное перед внесением удобрений, составляло 3.3–5.5, аммонийного – 2.1–3.9 мг/кг почвы, подвижных форм фосфора и калия – соответственно 121–201 и 113–252 мг/кг почвы, сумма поглощенных оснований – 38.7–70.3, гидролитическая кислотность – 3.1–5.0 мг-экв/100 г почвы, степень насыщенности почв основаниями – 86.6–96.5%.

Результаты опыта показали, что изученные сорта озимой пшеницы по разному реагировали на почвенное плодородие, тогда как их отзывчивость на внесение азотных удобрений оказалось практически одинаковой. Несмотря на крайне неблагоприятные условия 2-х лет исследования в среднем за 3 года наиболее высокая урожайность была получена при внесении N90, составившая у сорта Московская 39 – 25.6, у сорта Губернатор Дона – 36 ц/га (табл. 9).

В среднем за 3 года исследований минимальный вынос азота сортом Московская 39 составил 32.9 кг в варианте с внесением P40K40, максимальный – 38.4 кг в варианте с внесением N180 (N90 осенью + N90 весной), сортом Губернатор Дона – от 28.5 кг в варианте без удобрений до 31,5 кг в варианте с внесением N180. Вынос фосфора составил 12.2–13.3 кг/т сортом Московская 39, 10.5–11.3 кг – сортом Губернатор Дона, калия – соответственно 20.7–24.2 и 19.5–23.7 (табл. 10).

Таким образом, на черноземах типичных с высоким содержанием подвижных форм фосфора и калия

удельный вынос питательных веществ изученными сортами озимой пшеницы значительно превышал нормативные показатели. Сорт Московская 39 выносил больше азота на 10.3–15.8, фосфора – на 3.9–5.0 и калия – на 5.8–9.3 кг, сорт Губернатор Дона выносил больше азота на 5.9–8.9, фосфора – на 2.2–3.0 и калия – на 4.6–8.8 кг с 1 т зерна с учетом соломы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ представленного материала свидетельствует о том, что на величину урожайности зерновых культур в основном оказывает влияние уровень почвенного плодородия. Это связано с тем, что в рассмотренных опытах исследования проводили на полях научно-исследовательских учреждений, которые характеризовались высоким уровнем плодородия, что не соответствует условиям производства. По данным агрохимического обследования пахотных почв (36% от всей площади), в России насчитывалось пашни с высоким содержанием подвижного фосфора 19%, в Нечерноземной зоне – соответственно 60 и 34%. Следовательно, представленные экспериментальные данные можно использовать только на незначительной территории. Этим можно объяснить тот факт, что потенциал высокопродуктивных сортов зерновых культур реализуется в производственных условиях лишь на 30–40% [20]. Например, сорта озимой пшеницы селекции МосНИИСХ, которые характеризуются урожайностью до 100 ц/га и больше, получены

и испытаны на высококультурных почвах. Кроме того, под эти сорта были внесены удобрения в высоких дозах. При внесении N120 урожайность озимой пшеницы превысила 7 т/га.

Наибольший вклад в формирование урожайности вносит фактор почвенного плодородия, его доля составляет в зависимости от доз азота и сорта 68–90%. Долевое участие азотных удобрений менялось от 10 до 32%, коэффициенты вариации находились в пределах 16–20%. Сравнение прироста урожая стандартного сорта Заря от внесения удобрений варьировало от 64 до 146%.

Аналогичные результаты получены в полевом опыте ВНИИПТИХИМ, где было испытано 33 сорта озимой пшеницы 17 – ярового ячменя. Долевое участие удобрений в формировании урожайности озимой пшеницы составило 81–82, ярового ячменя – 83–89%, вклад сорта – соответственно 6, 13 и 6%.

На черноземе обыкновенном доля участия фактора плодородия несколько превышала показатели дерново-подзолистых почв, а вклад удобрений, несмотря на внесение высоких доз, был меньше по сравнению с данными, полученными на дерново-подзолистых почвах. Варьирование урожайности в зависимости от сорта составило 5–6%.

В опыте, проведенном в условиях производства на черноземе выщелоченном, который характеризовался средним содержанием подвижного фосфора, урожайность озимой пшеницы наиболее продуктивного сорта оказалась в 2 раза меньше, чем у рассмотренных выше сортов, что можно объяснить более низким уровнем почвенного плодородия.

Для того, чтобы получить обоснованные научные данные о вкладе различных факторов в формирование урожайности зерновых культур, считаем целесообразным объединить усилия селекционеров и агрохимиков в проведении испытательных полевых опытов. Испытание новых сортов следует проводить не только на высококультурных, но и на почвах разного уровня плодородия. Об этом сказал еще 30 лет назад известный ученый Э. Л. Климашевский: “Для выделения агрохимически эффективных сортов следует вести сортоиспытание в условиях широкого спектра минерального обеспечения, не только на “высоком агрофоне”, но и в “спартанских условиях” [21].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кудяров В.Н.* Баланс углерода и азота в современном земледелии Российской Федерации // *Фундаментальные проблемы управления циклом азота в современном земледелии*. Владимир: ВНИИПТИОУ–филиал Верхневолжского ФАНЦ, 2019. С. 3–23.
2. *Ремесло В.Н.* Селекция, семеноводство и сортовая агротехника пшеницы: избр. тр. М., 1977. 351 с.
3. *Лукьяненко П.П.* О роли удобрений и сортов в повышении урожая. Избр. тр. М.: Колос, 1973. С. 219–221.
4. *Войтович Н.В., Сандухадзе Б.И., Чумаченко И.Н., Капранов В.Н.* Плодородие, удобрение, сорт и качество продукции зерновых культур в Нечерноземной зоне России М.: ЦИНАО, 2002. 196 с.
5. *Сандухадзе Б.И., Журавлева Е.В., Кочетыгов Г.В.* Озимая пшеница Нечерноземья в решении продовольственной безопасности Российской Федерации, М.: ООО “НИПКЦ Восход – А”, 2011. 156 с.
6. *Фотосинтез и вопросы продуктивности растений:* Сб. научн. тр. / Отв. ред. А. А. Ничипорович. М.: АН СССР, 1963. 159 с.
7. *Никитишен В.И., Терехова Л.М., Личко В.И.* Формирование ассимиляционного аппарата и продуктивность фотосинтеза растений в различных условиях минерального питания // *Агрохимия*. 2007. № 8. С. 35–43.
8. *Мосолов И.В.* О влиянии минеральных удобрений на обмен веществ в растениях, урожай и его качество М.: ТСХА, 1965. 519 с.
9. *Бабицкий А.Ф.* Урожай и урожайные качества семян пшеницы // *Аграрн. наука*. 2012. № 7. С. 20–22.
10. *Лавриенко А.Н., Огородников Л.П.* Урожайность яровой пшеницы в зависимости от предшественников и уровней минерального питания // *Земледелие*. 2012. № 3. С. 38–39.
11. *Петров А.Ф., Мармулев А.Н., Митракова А.Г., Галузий Н.В.* Влияние азотных удобрений на урожайность и качество яровой пшеницы // *Инновации и прод. безопасность*. 2017. № 4. С. 14–19.
12. *Сиротина Е.А.* Рациональные дозы минеральных удобрений в повышении урожайности яровой пшеницы // *Аграрная наука – сельскому хозяйству: Сб. мат-лов Международ. научн.-практ. конф.* Барнаул: Изд-во АлтайГАУ. 2018. С. 410–412.
13. *Павленкова Т.В.* Изменение количества нитратного, аммиачного азота, биологической активности при использовании удобрений // *Аграрн. вестн. Урала*. 2008. № 1. С. 27–28.
14. *Сычев В.Г., Шафран С.А.* Влияние агрохимических свойств почв на эффективность минеральных удобрений. М.: ВНИИА, 2012. 200 с.
15. *Кореньков Д.А.* Продуктивное использование минеральных удобрений. М.: Россельхозиздат, 1985. 221 с.
16. *Шафран С.А., Духанина Т.М.* Значение комплексного агрохимического окультуривания почв в повышении эффективности применения азотных удобрений под пшеницу // *Агрохимия*. 2017. № 11. С. 21–30.
17. *Чуб М.П., Пронько В.В., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф., Журавлев Д.Ю., Никонорова Н.И.* Продуктивность яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) при систематическом удобрении в условиях длительного

- стационарного опыта в Поволжье // Пробл. агрохим. и экол. 2014. № 4. С. 3–8.
18. *Berecz K., Debreceni K., Presing M.* Studies on nitrogen cycle in field and model experiments with winter wheat // *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 1998. V. 29. № 1114. P. 85–93.
 19. *Mudahar M.S., Hignett T.P.* Hignett energy efficiency in nitrogen fertilizer production // *Energy Agric.* 1980. № 4. P. 159–177.
 20. *Неттевич Э.Д.* Итоги селекции основных зерновых культур к началу третьего тысячелетия (аналитический обзор). М.: РИЦ МГИУ, 2002. 45 с.
 21. *Журавлева Е.В.* Научное обоснование повышения продуктивности и качества зерна интенсивных сортов озимой пшеницы в земледелии Центрального Нечерноземья: Автореф. ... д-ра биол. наук. М., 2011. 41 с.
 22. *Сычев В.Г., Шафран С.А., Духанина Т.М.* Научные основы и методика определения доз питательных веществ и прогнозирования экономической эффективности минеральных удобрений. М.: ВНИИА, 2020. 152 с.
 23. *Шафран С.А.* Методика определения агрономической и экологической эффективности примененных минеральных удобрений в условиях производства. М.: ВНИИА, 2023. 154 с.
 24. *Шафран С.А., Хачидзе А.С., Мамедов М.Г., Васильев А.Н.* Эффективность азотного удобрения зерновых культур различных сортов // *Агрохимия.* 2006. № 7. С. 13–19.
 25. *Сандухадзе Б.И.* Факторы урожайности озимой пшеницы в условиях Нечерноземья // *Плодородие.* 2021. № 3. С. 66–70.
 26. *Пасько С.В.* Отзывчивость сортов озимой пшеницы на уровень минерального питания: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. п. Рассвет, 2007. 23 с.
 27. *Осипов А.А.* Влияние элементов технологий возделывания на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на юго-западе Центрального региона России: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Брянск, 2018. 24 с.
 28. *Вильдфлуш И.Р., Козышко Е.И.* Сортотзывчивость яровой пшеницы на условия минерального питания на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // *Почвовед. и агрохим.* 2012. № 1(48). С. 82–89.
 29. *Васильев А.И.* Эффективность азотной подкормки сортов озимой пшеницы на черноземе выщелоченном в лесостепной зоне Поволжья: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2006. 24 с.
 30. *Иванова О.М.* Оптимизация азотного питания различных сортов озимой пшеницы в ЦЧЗ: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2013. 26 с.
 31. *Ваулина Г.И.* Эффективность минеральных удобрений и других средств химизации при возделывании разных сортов зерновых культур на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве в условиях Центрального района Нечерноземной зоны: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 2007. 46 с.
 32. *Нормативы выноса элементов питания сельскохозяйственными культурами.* М.: ЦИНАО, 1991. 65 с.

Role of Soil Fertility and Varieties in Increasing the Yield of Grain Crops

S. A. Shafran^{a, #}, E. S. Kozeicheva^a

^aAll-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D. N. Pryanishnikov,
ul. Pryanishnikova 31a, Moscow 127550, Russia

[#]E-mail: shafran38@mail.ru

A review of publications devoted to the study of the effect of mineral fertilizers on the yield of various varieties of grain crops on various soils is presented. At the same time, special attention is paid to the assessment of the equity participation of various factors in the formation of their productivity. It was found that the greatest contribution to the formation of yield falls on soil fertility, which on sod-podzolic highly cultivated soils amounted to 68–90%, depending on nitrogen doses and varieties, and the share of nitrogen fertilizers varied from 10 to 32%. The coefficient of variation between varieties in terms of yield was in the range of 16–20%. The increase in winter wheat yield from nitrogen application in comparison with the standard Zarya variety ranged from 64 to 146%. In the experiment of VNIPTIHIM, where 33 varieties of winter wheat and 17 varieties of spring barley were tested, the share of the soil fertility factor in the formation of the winter wheat harvest was 81–82, spring barley – 83–89%, the contribution of the variety, respectively, was 6, 13 and 6%.

On ordinary chernozem, its participation in the formation of winter wheat yields slightly exceeded the indicators of sod-podzolic soils, as well as the contribution of fertilizers, despite the introduction of higher doses of mineral fertilizers. The variation in yield depending on the variety was 5–6%. In the experiment on leached chernozem, which was characterized by average agrochemical cultivation, the most productive variety of winter wheat showed a yield 2 times less than that of the previously considered varieties.

Keywords: soil fertility, variety, yield, contribution of factors.