

УДК 631.82:631.43:631.559:633.11“321”:631.421.1

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ И ОКУПАЕМОСТЬ УДОБРЕНИЙ В ДЛИТЕЛЬНОМ СТАЦИОНАРНОМ ОПЫТЕ

© 2021 г. А. Г. Дзюин

Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН
427007 Ижевск, Завьяловский р-н, с. Первомайский, ул. Ленина, 1, Удмуртская Республика, Россия

E-mail: ugnish@yandex.ru

Поступила в редакцию 24.12.2020 г.

После доработки 24.02.2021 г.

Принята к публикации 10.04.2021 г.

Площади посевов яровой пшеницы в Удмуртской Республике, как и в Северо-Восточной зоне Нечерноземной России, в которую она входит своей территорией, за последние годы имеют тенденцию расширения. За 15 лет в республике они увеличились на 30 тыс. га. Однако, вследствие низкого плодородия почв, участвовавших летних засух, недостаточного применения удобрений, урожайность пшеницы остается низкой (≈ 14 ц/га в среднем за последние 10–12 лет). Повышение ее урожайности возможно путем регулирования системы применения удобрений. В этой связи целью работы было выявление рациональных доз и системы применения удобрения под яровую пшеницу на основе анализа результатов исследований, проведенных в многолетнем стационарном опыте. Опыт заложен в 1971–1972 гг. на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве в 2-х закладках с показателями: pH_{KCl} 5.0, H_r – 2.7, S – 14.8 мг-экв/100 г, P_2O_5 – 52.0, K_2O – 92 мг/кг почвы, гумус – 2.5%. Прошло 6 ротаций 8-польного севооборота с чередованием культур: пар черный–озимая рожь–картофель в 1–3-й ротациях–кукуруза в 4–5-й ротациях–яровая пшеница + клевер, клевер 1-го года пользования (г.п.)–клевер 2-го г.п.–озимая рожь–ячмень. Схема опыта: фактор A – фон (0 – нулевой, Изв² – известь по 1 H_r в 1-й + по 2 H_r во 2-й ротациях, Нав⁵Сид – навоз 40 т/га в 1-й + + по 60 т/га во 2–5-1 ротациях + сидерат в 6-й ротации, Изв²Нав⁵Сид – в соответствующих сочетаниях. Фактор B – минеральные удобрения. Повторность опыта четырехкратная. Метеоусловия – по данным ЦГМ “Ижевск”. В благоприятные по метеоусловиям годы урожайность яровой пшеницы на удобренных почвах достигала 36–41 ц/га, при недостатке осадков – снижалась до 18 ц/га и более, наибольшая – формировалась на известково-унавоженном фоне, далее на унавоженном и меньше на известкованном и нулевом фонах при внесении полного (NPK) удобрения с некоторым снижением в ряду NP, NK и PK-удобрения. В системе удобрения оптимальными дозами для пшеницы были: на нулевом фоне – N50P50K50, на фоне извести – N40P40K40, на фоне навоза – N30P30K30, на фоне известь + навоз – N10P10K10. На фонах навоз и особенно известь + навоз эффективность N60P60K60 повышалась. Хозяйствам, в зависимости от условий их развития, для получения зерна яровой пшеницы 20–30 ц/га на соответствующих для этого фонах рекомендовано вносить минеральные удобрения NPK в дозах от 10 до 60 кг д.в./га, которые могут обеспечить уровень их окупаемости в пределах с 21 до 5 на фоне известь + навоз, с 13 до 4 – на фоне навоз и с 16 до 3 кг/кг на нулевом и известкованном фонах соответственно дозам.

Ключевые слова: севооборот, яровая пшеница, урожайность, метеорологические условия, дозы удобрений, известь, навоз, окупаемость удобрений.

DOI: 10.31857/S0002188121070048

ВВЕДЕНИЕ

Получение дешевой продукции растениеводства – одна из основных задач в отрасли сельского хозяйства. Природные условия Удмуртской Республики, как и всей Северо-Восточной зоны Нечерноземья и Среднего Предуралья не благоприятствуют получению высоких урожаев без значительных вложений. Низкое плодородие

дерново-подзолистых почв, длительная холодная зима, короткое лето с неравномерным выпадением осадков, засушливыми периодами являются основными факторами, препятствующими повышению эффективности сельскохозяйственного производства. Несмотря на это, известкование и фосфоритование почв, применение органических и минеральных удобрений позволяют суще-

ственно повысить урожайность выращиваемых зерновых культур, в том числе яровой пшеницы [1–3]. В этой связи уместно привести высказывание В.И. Кириوشина о том, что со стороны наиболее консервативной части общества имеются попытки отказаться от применения минеральных удобрений и пестицидов, что многие задачи оптимизации земледелия и предотвращения деградации почв трудно решить без их применения [4].

Яровая пшеница в Удмуртской Республике является не главной зерновой культурой, однако ее посевные площади в 1990-е гг. стали расширяться, достигнув в 2000 г. 105 тыс. га (за 15 лет увеличились на 30 тыс. га). В структуре посевных площадей оптимальный размер площади ее посева в перспективе составляет 120 тыс. га, как наиболее ценной культуры продовольственного назначения [5]. Почвенно-климатические условия в республике – явно неблагоприятные для яровой пшеницы. Получение высокой урожайности с хорошим качеством продовольственного зерна возможно на окультуренных почвах, с использованием оптимальной системы удобрения. Для ее выращивания лучше подходит южная половина республики. В современных условиях наиболее целесообразным является комплексный подход к решению вопросов как воспроизводства плодородия почв, так и увеличения урожайности отдельных сельскохозяйственных культур. Сочетание минеральных, органических удобрений и известкования – один из основных факторов повышения плодородия почв, улучшения агрохимического их состояния [6]. Учитывая отсутствие достаточных финансовых и материальных средств, к разработке систем удобрения следует подходить с позиции ресурсосбережения. Цель работы – на основе анализа результатов исследования, проведенного в многолетнем стационарном опыте, выявить рациональные дозы и систему применения удобрений под яровую пшеницу.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проведено в длительном стационарном опыте, заложенном в 1971–1972 гг. с двукратным повторением во времени, который включен в реестр Географической сети опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова. Название опыта – “Влияние систем удобрения на плодородие почвы и продуктивность восьмипольного севооборота при длительном их применении”. Выдан аттестат длительного опыта под № 051 за подписью Президента РАСХН академика Г.А. Романенко и директора ВИУА Н.З. Милащенко.

Севооборот – 8-польный с чередованием культур: 1 – пар черный, 2 – озимая рожь, 3 – картофель в 1–3-й и кукуруза в 4–5-й ротациях, 4 – яровая пшеница + клевер, 5 – клевер 1-го г.п., 6 – клевер 2-го г.п., 7 – озимая рожь, 8 – ячмень. С момента закладки прошло 6 ротаций. Схема опыта состоит из 2-х факторов. Фактор *A* – фон: 0 – нулевой, Изв² – известь по 1 H_r в начале 1-й ротации севооборота + известь по 2 H_r в начале 2-й ротации, Нав⁵Сид – навоз 40 т/га внесли в 1-й ротации севооборота + по 60 т/га во 2–5-ю ротации + сидерат в 6-й ротации; Изв²Нав⁵Сид – известь по 1 H_r в 1-й и по 2 H_r во 2-ю ротации + навоз 40 т/га в 1-й и по 60 т/га во 2–5-ю ротации + сидерат в 6-й ротации. Фактор *B* – варианты с минеральными удобрениями. Фосфорные и калийные удобрения вносили осенью под яблечную обработку, азотные удобрения – до посева под предпосевную культивацию. В 3–6-й ротациях дважды за ротацию севооборота запахивали солому озимой ржи. В 6-й ротации вместо навоза в пару заделали сидерат – горохоовсяную смесь с массой 18 т/га. Дополнительно к фону изменяли в вариантах дозы минеральных удобрений в ротациях севооборота с целью повышения плодородия почвы, выявления действия разных сочетаний удобрений на почву и урожайность культур, а также в связи с переходом на адаптивно-ландшафтную систему земледелия, в которой основным направлением для изучения и внедрения стали биологизация земледелия с одновременным снижением уровня применения минеральных удобрений. Все изменения согласованы с комиссией по вопросам методики исследований ВИУА–ВНИИА.

Почва – дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая с агрохимическими показателями до закладки опыта: pH_{KCl} 5.0, H_r по Каппену – 2.7 мг-экв/100 г, *S* (сумма поглощенных оснований) по Каппену–Гильковицу – 14.8 мг-экв/100 г, P_2O_5 (по Кирсанову) – 52.0, K_2O (по Кирсанову) – 92 мг/кг почвы, гумус по Тюрину – 2.5%. Сорты яровой пшеницы, высеваемые в опыте в ротациях: в 1-й – Отечественная, во 2-й – Московская 35, в 3-й – Энита, в 4-й – Иргина, в 5-й – Ирень, в 6-й – Свеча. Повторность опыта четырехкратная. Статистическую обработку данных урожайности провели методом дисперсионного анализа данных многофакторного полевого опыта (метод рендомизированных повторений–блоков) по [7]. Статистическую обработку средней урожайности 2-х закладок опыта (табл. 2) провели этим же методом с данными 8-ми повторений (по 4 повторения в каждой закладке). Наблюдения метеоусло-

Таблица 1. Урожайность яровой пшеницы в севообороте стационарного опыта в закладках, ц/га

Ротация	Год	Вариант	Нулевой фон		Известь по 1 + 2 H_T		Навоз 40 + по 60 т/га		Известь по 1 + 2 H_T + навоз 40 + по 60 т/га	
			1	2	1	2	1	2	1	2
1-я	1974	0	—	—	21.5	—	21.4	—	21.3	—
		N90P60	—	—	28.6	7.1	26.0	4.6	28.5	7.2
		N90K60	—	—	25.8	4.3	23.9	2.5	26.2	4.9
		P60K60	—	—	20.6	— 0.9	24.2	2.8	22.3	1.0
		N90P60K60	—	—	29.3	7.8	27.8	6.4	28.2	6.9
		<i>HCP</i> ₀₅	—	—	—	3.0	—	3.0	—	3.0
2-я	1983	0	28.7	—	26.6	—	31.5	—	30.3	—
		N120P90	29.6	0.9	26.6	0	30.8	— 0.7	28.2	— 2.1
		N120K90	30.5	1.8	27.7	1.1	30.7	— 0.8	28.9	— 1.4
		P90K90	32.9	4.2	31.6	5.0	35.4	3.9	32.5	2.2
		N120P90K90	31.4	2.7	29.0	2.4	31.8	0.3	28.7	— 1.6
		<i>HCP</i> ₀₅	—	3.4	—	3.4	—	3.4	—	3.4
3-я	1990	0	25.5	—	27.4	—	29.6	—	29.4	—
		N90P60	33.7	8.2	36.6	9.2	36.6	7.0	38.4	9.0
		N90K60	31.0	5.5	33.0	5.6	34.6	5.0	34.9	5.5
		P90K60	27.9	2.4	31.4	4.0	31.7	2.1	33.1	3.7
		N90P60K60	36.3	10.8	37.0	9.6	39.1	9.5	41.8	12.4
		<i>HCP</i> ₀₅	—	3.5	—	3.5	—	3.5	—	3.5
	1991	0	18.8	—	20.1	—	20.9	—	22.3	—
		N90P60	22.0	3.2	24.9	4.8	25.5	4.6	28.8	6.5
		N90K60	21.1	2.3	22.4	2.3	23.5	2.6	25.8	3.5
		P90K60	21.4	2.6	22.6	2.5	23.9	3.0	25.7	3.4
		N90P60K60	28.1	9.3	29.8	9.7	30.8	9.9	31.0	8.7
		<i>HCP</i> ₀₅	—	2.2	—	2.2	—	2.2	—	2.2
4-я	1998	0	8.8	—	9.4	—	13.5	—	13.8	—
		N60P120	10.6	1.8	11.3	1.9	15.8	2.3	16.3	2.5
		N60K120	10.5	1.2	10.2	0.8	15.0	1.5	16.9	3.1
		P120K120	10.6	1.8	11.7	2.3	16.8	3.3	17.0	3.2
		N60P120K120	12.2	3.4	12.8	3.4	18.4	4.9	21.2	7.4
		<i>HCP</i> ₀₅	—	2.2	—	2.2	—	2.2	—	2.2
	1999	0	12.2	—	9.4	—	18.8	—	16.3	—
		N60P120	16.9	4.7	14.3	4.9	20.0	1.2	19.0	2.7
		N60K120	17.7	5.5	16.6	7.2	20.1	1.3	17.4	1.1
		P120K120	13.4	1.2	11.2	1.8	19.4	0.6	14.4	— 1.9
		N60P120K120	20.3	8.1	13.6	4.2	21.6	2.8	19.3	3.0
		<i>HCP</i> ₀₅	—	2.2	—	2.2	—	2.2	—	2.2

Таблица 1. Окончание

Ротация	Год	Вариант	Нулевой фон		Известь по 1 + 2 H_T		Навоз 40 + по 60 т/га		Известь по 1 + 2 H_T + по навоз 40 + по 60 т/га		
			1	2	1	2	1	2	1	2	
5-я	2006	0	18.3	—	20.7	—	26.9	—	23.8	—	
		N40	22.6	4.3	28.9	8.2	38.0	11.1	32.9	9.1	
		K40	27.0	8.7	19.2	—1.5	27.5	0.6	30.2	6.4	
		P40	22.1	3.8	17.8	—2.9	30.5	3.6	31.3	7.5	
		N40P40K40	23.2	4.9	22.8	2.1	34.6	7.7	35.2	11.4	
		HCP_{05}	—	4.4	—	4.4	—	4.4	—	4.4	
	2007	0	14.2	—	10.2	—	14.4	—	14.0	—	
		N40	19.1	4.9	20.1	9.9	17.3	2.9	18.2	4.2	
		K40	17.5	3.3	16.4	6.2	20.1	5.7	18.1	4.1	
		P40	14.7	0.5	13.6	3.4	15.3	0.9	18.2	4.2	
		N40P40K40	18.8	4.6	19.5	9.3	22.5	8.1	26.4	12.4	
		HCP_{05}	—	1.1	—	1.1	—	1.1	—	1.1	
	6-я	2013	0	6.7	—	6.6	—	8.7	—	8.3	—
			N40P40	7.7	1.0	8.2	1.6	10.0	1.3	9.4	1.1
N40K40			8.3	1.6	7.7	1.1	9.2	0.5	8.6	0.3	
P40K40			7.9	1.2	6.9	0.3	12.2	3.5	9.0	0.7	
N10P10K10			8.2	1.5	8.6	2.0	12.4	3.7	10.8	2.5	
N20P20K20			8.8	2.1	8.7	2.1	11.5	2.8	9.7	1.4	
N30P30K30			8.9	2.2	8.5	1.9	13.4	4.7	11.5	3.2	
N40P40K40			8.8	2.1	9.0	2.4	11.8	3.1	10.9	2.6	
N50P50K50			9.6	2.9	9.4	2.8	10.5	1.8	11.1	2.8	
N60P60K60			9.2	2.5	9.7	3.1	13.4	4.7	11.9	3.6	
HCP_{05}			—	1.2	—	1.2	—	1.2	—	1.2	
2014			0	20.9	—	23.4	—	26.4	—	23.4	—
		N40P40	28.4	7.5	25.9	2.5	29.6	3.2	29.8	6.4	
		N40K40	27.1	6.2	27.2	3.8	30.3	3.9	26.8	3.4	
		P40K40	23.2	2.3	26.6	3.2	27.2	0.8	24.4	1.0	
		N10P10K10	29.2	8.3	28.0	4.6	30.7	4.3	33.4	10.0	
		N20P20K20	27.6	6.7	25.7	2.3	30.1	3.7	32.3	8.9	
N30P30K30		28.8	7.9	27.2	3.8	31.5	5.1	32.6	9.2		
N40P40K40	29.3	8.4	27.7	4.3	32.7	6.3	33.3	9.9			
N50P50K50	29.3	8.4	27.0	3.6	32.6	6.2	34.4	11.0			
N60P60K60	29.4	8.5	26.7	3.3	35.7	9.3	38.3	14.9			
HCP_{05}	—	2.0	—	2.0	—	2.0	—	2.0			

Примечание. В графе 1 – урожайность, 2 – прибавка урожайности, ц/га.

вий вели на агрометеорологической станции “Ижевск” на смежных полях стационарного опыта.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Погодные условия в период вегетации растений яровой пшеницы чаще всего складывались неблагоприятные из-за недостатка выпавших осадков. Относительно благоприятными для формирования ее урожая были погодные условия 1974 г. (1-я закладка 1-й ротации севооборота). Во 2-й закладке в 1975 г. вследствие засухи урожай сильно пострадал. Таким же засушливым был 1982 г. во 2-й ротации, 1983 г. выдался более благоприятным. В 3-й ротации 1990 г. оказался благоприятным, в 1991 г. осадков выпало: в июне — 38.2%, в июле — 80% нормы. В 4-й ротации севооборота погодные условия в оба года выращивания пшеницы были неблагоприятными: в 1998 г. за период всей вегетации растениям не хватало влаги (в мае осадков выпало 70.5, в июне — 90, июле — 58.9% нормы, в 1999 г. в июне — 35.8%). В 2006 г. (5-я ротация) июнь был также засушливым, осадков выпало всего 35% нормы, но 2007 г. выдался влажным: в мае, июне и июле осадков выпало 149, 129 и 192% соответственно. В 6-й ротации тоже повторялись засушливые периоды. В 2013 г. уже в мае наметился недостаток осадков (83.5%), в июне выпало всего 36.2% нормы. В 2014 г. засушливым оказался май (40.8% осадков).

Неблагоприятные погодные условия отрицательно влияли на урожайность яровой пшеницы. Практически в каждой ротации севооборота она попадала в засуху. В жестких условиях засухи формировалась очень низкая урожайность яровой пшеницы: в 1975 г. — 4.5–8.7, 1982 г. — 5.4–9.8 ц/га, поэтому показатели этих лет не рассматривали. В 1974 г. урожайность составила 20.6–29.3 ц/га (табл. 1). Влияние фонов в варианте без минеральных удобрений на величине урожайности не проявилось (21.3–21.5 ц/га). Следовательно, последнее действие навоза закончилось еще на 2-й культуре — картофеле. Не отмечено действие и известки в сочетании с навозом. Внесение минеральных удобрений привело к повышению урожайности пшеницы. Наибольшие прибавки, с преимуществом на известкованных фонах, получены в варианте с внесением полного минерального удобрения — 6.4–7.8, а также в варианте NP — 4.6–7.2 ц/га. Поменьше были прибавки в варианте НК на известкованных фонах — 4.3–4.9 ц/га. Не привело к повышению урожайности применение фосфорно-калийных удобрений.

Во 2-й ротации севооборота в благоприятном 1983 г. урожайность яровой пшеницы в контроль-

ных вариантах без внесения минеральных удобрений составила: в 1983 г. — 26.6–31.5, что было больше на 5.1–10.1 ц/га по сравнению с 1974 г., причем более высокие прибавки были на фонах с внесением навоза под 1-ю и 2-ю ротации. Действие минеральных удобрений проявилось только в варианте РК — с фосфорно-калийными удобрениями.

В 1990 г. (1-я закладка 3-й ротации) для яровой пшеницы выдалась благоприятные погодные условия. Показатели урожайности по фонам в контрольном варианте практически были сравнимы с данными 1983 г., тогда как в вариантах с минеральными удобрениями они были более схожими с данными 1974 г. Наиболее высокая урожайность пшеницы была получена на унавоженных фонах с внесением полного минерального удобрения N90P60K60 (39.1–41.8 ц/га), и несколько меньше на нулевом и известкованном фонах (36.3–37.0 ц/га). Соответственно были высокими прибавки от минеральных удобрений: 9.5–12.4 и 9.6–10.8 ц/га. На втором месте по величине урожайности и прибавок был вариант NP с показателями 33.7–38.4 и 7.0–9.2 ц/га соответственно.

Во все последующие годы выращивания пшеницы в опыте создавались менее благоприятные погодные условия. В 1991 г. из-за недостатка влаги урожайность в контрольном варианте снизилась до 18.8–22.3 ц/га, а наибольшая сформировалась в варианте N90P60K60: на нулевом и известкованном фонах — 28.1–29.8, на унавоженных фонах — 30.8–31.0 ц/га. Прибавки составили 9.3–9.7 и 8.7–9.9 ц/га соответственно. Все парные варианты обеспечили получение достоверных прибавок урожая, но наибольшими прибавками выделился вариант NP.

Яровая пшеница в 4-й ротации на обеих закладках испытывала дефицит влаги, в результате чего урожайность сильно пострадала. В варианте без удобрений величина ее в зависимости от фонов изменялась: в 1998 г. — в пределах 8.8–13.8, в 1999 г. — 9.4–18.8 ц/га. Более высокая урожайность (21.2 и 21.6 ц/га) и соответственно прибавки отмечены в вариантах с внесением всех 3-х элементов питания. При этом наибольшая прибавка получена в 1998 г. на известково-унавоженном фоне (7.4 ц/га), в 1999 г. — на нулевом фоне (8.1 ц/га). Достоверными были прибавки и в парных вариантах: в первой закладке в варианте NP на унавоженных фонах, в варианте НК — на известково-унавоженном фоне, в варианте РК — на известкованном и унавоженных фонах. Во 2-й закладке в вариантах NP, НК на нулевом, известкованном и NP — известково-унавоженном фонах.

В 5-й ротации парные варианты были преобразованы в однокомпонентные с целью выявления действия элемента питания в чистом виде (без сочетания с другими элементами) в насыщенном удобрении длительном севообороте. Так сложилось, что наибольшая урожайность в 2006 г. была не в трехкомпонентном варианте, как в предыдущих ротациях, а в одном из однокомпонентных вариантов. На нулевом фоне наибольшие урожайность и ее прибавка оказались в варианте К40 (27.0 и 8.7 ц/га соответственно), на известкованном фоне – в варианте N40 (28.9 и 8.2 ц/га), на фоне навоза – также в варианте N40 (38.0 и 11.1 ц/га), и лишь на фоне извести + навоза – в варианте с полным удобрением N40P40K40 (35.2 и 11.4 ц/га). В условиях необычно влажного 2007 г. эффективность удобрений в связи с вымыванием азота и отчасти калия заметно снизилась. На нулевом и известкованном фонах наилучшее действие оказало внесение азотных и азотно-фосфорно-калийных удобрений, на фонах навоза и извести + навоза – полное удобрение и внесение калийного удобрения.

Недостаточное количество выпавших осадков в июне 2013 г. (6-я ротация) резко снизило урожайность яровой пшеницы – до 6.6–8.7 ц/га в вариантах без минеральных удобрений. Эффективность минеральных удобрений в этих условиях зависела от последствия фоновых удобрений. На нулевом фоне (без извести и навоза) с повышением доз удобрений урожайность пшеницы увеличивалась до уровня применения доз N40P40K40–N50P50K50, на известкованном фоне – до уровня доз N40P40K40–N60P60K60, на унавоженных фонах – до уровня доз от N30P30K30 до N60P60K60. В условиях лучшей обеспеченности влагой в 2014 г. в варианте без минеральных удобрений урожайность в зависимости от фона изменялась в пределах 20.9–26.4 ц/га (наибольшая была на фоне навоза). На нулевом и известкованном фонах, чтобы получить наибольшую урожайность, достаточным оказалось внесение удобрений в дозе N10P10K10 (29.2 и 28.0 ц/га), на фоне навоза и на фоне навоза + извести – в дозе N60P60K60 (35.7 и 38.3 ц/га).

Приведенные данные свидетельствовали о значительном влиянии погодных условий на урожайность яровой пшеницы. При недостаточном количестве выпавших осадков эффективность минеральных удобрений резко снижалась. В этой связи определенный интерес представляет рассмотрение усредненных данных 2-х закладок опыта (табл. 2).

В 1-й и во 2-й ротациях севооборота средняя урожайность пшеницы 2-х закладок опыта изме-

нялась в зависимости от фона и варианта так же, как в более благоприятные 1974 и 1983 гг. В 3-й ротации наибольшая урожайность формировалась на известково-унавоженном фоне в варианте с внесением полного минерального удобрения N90P60K60 – 36.4 ц/га. За ним следовали унавоженный, известкованный и нулевой фон. На всех фонах более высокая эффективность минеральных удобрений была при совместном внесении NPK, несколько меньше – со снижением в ряду парных вариантов NP, NK и PK- удобрений. Высокая роль азота в повышении урожайности яровой пшеницы выявлена и на дерново-слабоподзолистой среднесуглинистой почве в Республике Марий Эл. На хорошо обеспеченной подвижными формами фосфора и калия почве прибавка урожая пшеницы сорта Симбирка от P60K60 в среднем за 4 года составила ≈ 1 ц/га, от N30P60K60 – 3 ц/га (с изменениями от 2-х до 8-ми ц/га) [8]. Долевое участие минеральных удобрений в формировании урожая яровой пшеницы сортов Крепыш и Приокская в благоприятные годы на опытном поле Марийского НИИСХ составляло 76–80%, в засушливые годы снижалось до 43–52% [9]. Однако и без внесения минеральных удобрений в наших опытах при дефиците влаги, который складывался в 4-й ротации, урожайность пшеницы по сравнению с 3-й ротацией снижалась: на фоне извести + навоза – с 25.8 до 15.0 ц/га (на 42%), навоза – с 25.2 до 16.2 (на 36%), извести – с 23.8 до 9.4 (на 60%), нулевом фоне – с 22.2 до 10.5 ц/га (на 53%). Прибавки от минеральных удобрений также наибольшими были в вариантах с NPK и небольшим снижением в вариантах NP и NK. Лишь в варианте PK на фоне извести с навозом прибавка была не достоверной.

В 6-й ротации урожайность по фонам наибольшей величины достигла в варианте с полным NPK-удобрением, на 2-м месте был вариант с внесением только азота (на нулевом фоне – калия). На 3-м месте был вариант с внесением фосфора, однако на фоне извести прибавка практически отсутствовала. Более наглядными были изменения урожайности пшеницы в зависимости от уровня минеральных удобрений в 6-й ротации. Эффективность их на всех фонах была высокой. На нулевом фоне урожайность пшеницы повышалась до уровня варианта применения N50P50K50, на фоне извести – до варианта N40P40K40, на фоне навоза – до варианта N30P30K30. Наибольшая урожайность на фоне навоза была получена при применении N60P60K60, на фоне извести + навоза – до дозы N60P60K60, причем на этом фоне прибавки были самыми высокими – от 5.1 до 9.2 ц/га. Из парных вариантов лучшее действие

Таблица 2. Урожайность яровой пшеницы в севообороте стационарного опыта (средние в 2-х закладках), ц/га

Ротация, год	Вариант	Нулевой фон		Известь по 1 + 2 H_{Γ}		Навоз 40 + + по 60 т/га		Известь 1 + 2 H_{Γ} + + навоз 40 + 60 т/га	
		урожай- ность	прибавка	урожай- ность	прибавка	урожай- ность	прибавка	урожай- ность	прибавка
1-я, 1974–1975	Без удобрений	–	–	13.0	–	14.2	–	13.9	–
	N90P60	–	–	17.2	4.2	16.2	2.0	17.4	3.5
	N90K60	–	–	15.6	2.6	14.4	–0.2	16.3	2.4
	P60K60	–	–	14.0	1.0	15.8	1.6	15.3	1.4
	N90P60K60	–	–	18.0	5.0	17.6	3.4	18.4	4.5
	<i>HCP</i> ₀₅	фонов – 0.8, вариантов – 1.5, частных различий – 2.6 ц/га							
2-я, 1982–1983	Без удобрений	17.3	–	16.2	–	19.0	–	18.0	–
	N120P90	18.3	1.0	16.9	0.7	18.5	–0.5	17.0	–1.0
	N120K90	19.5	2.2	16.7	0.5	18.3	–0.7	17.2	–0.8
	P90K90	21.4	4.1	20.1	3.9	22.0	3.0	20.4	2.4
	N120P90K90	19.1	1.8	18.7	2.5	19.7	0.7	18.0	0
	<i>HCP</i> ₀₅	фонов – 0.8, вариантов – 1.0, частных различий – 2.5 ц/га							
3-я, 1990–1991	Без удобрений	22.2	–	23.8	–	25.2	–	25.8	–
	N90P60	27.8	5.6	30.8	7.0	31.0	5.8	33.6	7.8
	N90K60	26.1	3.9	27.7	3.9	29.0	3.8	30.4	4.6
	P90K60	24.6	2.4	27.0	3.2	27.8	2.6	29.4	3.6
	N90P60K60	32.2	10.0	33.4	9.6	35.0	9.8	36.4	10.6
	<i>HCP</i> ₀₅	фонов – 0.7, вариантов – 0.9, частных различий – 2.3 ц/га							
4-я, 1998–1999	Без удобрений	10.5	–	9.4	–	16.2	–	15.0	–
	N60P120	13.8	3.3	12.8	3.4	17.9	1.7	17.7	2.7
	N60K120	14.1	3.6	13.4	4.0	17.6	1.4	17.2	2.2
	P120K120	12.0	1.5	11.4	2.0	18.1	1.9	15.7	0.7
	N60P120K120	16.2	5.7	13.2	3.8	20.0	3.8	20.2	5.2
	<i>HCP</i> ₀₅	фонов – 0.6, вариантов – 0.8, частных различий – 2.0 ц/га							
5-я, 2006–2007	Без удобрений	16.2	–	15.4	–	20.6	–	18.9	–
	N40	20.8	4.6	24.5	9.1	27.6	7.0	25.6	6.7
	P40	18.4	2.2	15.7	0.3	22.9	2.3	24.8	5.9
	K40	22.2	6.0	17.8	2.4	23.8	3.2	24.2	5.3
	N40P40K40	28.0	11.8	25.4	10.0	27.4	6.8	29.0	10.1
	<i>HCP</i> ₀₅	фонов – 1.0, вариантов – 1.4, частных различий – 3.5 ц/га							
6-я, 2013–2014	Без удобрений	13.8	–	15.0	–	17.6	–	15.9	–
	N40P40	18.1	4.3	17.1	2.1	19.8	2.2	19.6	3.7
	N40K40	17.7	3.9	17.5	2.5	19.8	2.2	17.7	1.8
	P40K40	15.6	1.8	16.8	1.8	19.7	2.1	16.7	0.8
	N10P10K10	18.7	4.9	18.3	3.3	21.6	4.0	22.1	6.2
	N20P20K20	18.2	4.4	17.2	2.2	20.8	3.2	21.0	5.1
	N30P30K30	18.9	5.1	17.9	2.9	22.5	4.9	22.1	6.2
	N40P40K40	19.1	5.3	18.4	3.4	22.3	4.7	22.1	6.2
	N50P50K50	19.5	5.7	18.2	3.2	21.6	4.0	22.8	6.9
	N60P60K60	19.3	5.5	18.2	3.2	24.6	7.0	25.1	9.2
	<i>HCP</i> ₀₅	фонов – 0.5, вариантов – 0.7, частных различий – 1.8 ц/га							

Таблица 3. Окупаемость минеральных удобрений прибавкой урожая яровой пшеницы (средние 2-х закладок), кг зерна/кг НРК

Ротация, год	Вариант	Внесено НРК	Нулевой фон	Известь по 1 + 2 H_T	Навоз 40 + по 60 т/га	Известь по 1 + 2 H_T + навоз 40 + по 60 т/га
1-я, 1974	N90P60	150	—	4.7	3.1	4.8
	N90K60	150	—	2.9	1.7	3.3
	P60K60	120	—	-0.8	2.3	0.8
	N90P60K60	210	—	3.7	3.0	3.3
2-я, 1982–1983	N120P90	210	0.5	0.3	-0.2	-0.5
	N120K90	210	1.0	0.2	-0.3	-0.4
	P90K90	180	2.3	2.2	1.7	1.3
	N120P90K90	300	0.6	0.8	0.2	0
3-я, 1990–1991	N90P60	150	3.7	4.7	3.9	5.2
	N90K60	150	2.6	2.6	2.5	3.1
	P60K60	120	2.0	2.7	2.2	3.0
	N90P60K60	210	4.8	4.6	4.7	5.0
4-я, 1998–1999	N60P120	180	1.8	1.9	0.9	1.5
	N60K120	180	2.0	2.2	0.8	1.2
	P120K120	240	0.6	0.8	0.8	0.3
	N60P120K120	300	1.9	1.3	1.3	1.7
5-я, 2006–2007	N40	40	11.5	22.8	17.5	16.8
	P40	40	15.0	6.0	8.0	13.2
	K40	40	5.5	0.8	5.8	14.8
	N40P40K40	120	9.8	8.3	5.7	8.4
6-я, 2013–2014	N40P40	80	5.4	2.6	2.9	4.8
	N40K40	80	4.9	3.1	2.8	2.4
	P40K40	80	2.2	2.1	2.8	1.1
	N10P10K10	30	16.3	11.0	13.3	21.0
	N20P20K20	60	7.3	3.7	5.5	8.7
	N30P30K30	90	5.7	3.2	5.4	6.9
	N40P40K40	120	4.4	2.8	3.9	5.2
	N50P50K50	150	3.8	2.1	2.7	4.6
N60P60K60	180	3.1	1.8	3.9	5.2	

на урожайность оказали NP- и NK-варианты. По данным работы [10], на дерново-подзолистой суглинистой почве опытного поля Ижевского ГСХА наибольшая урожайность яровой пшеницы Иргина, почти 30 ц/га, в благоприятном году была получена при использовании минеральных удобрений в дозе N90P45K45 на фоне заправки зеленой массы рапса. В неблагоприятные по гидротермическим условиям годы более высокая урожайность (17–18 ц/га) сформировалась при той же дозе удобрений на фоне внесения соломы в качестве удобрения. В работе [11] (НИИСХ Северо-Востока) пришли к выводу, что урожайность большинства сортов яровой пшеницы воз-

растала до дозы N90P90K90, сорта Свеча – до дозы N60P60K60. Окупаемость 1 кг д.в. внесенных удобрений зерном пшеницы в среднем за 18 лет составила 3.6–8.0 кг/кг. В работе [12] (Пермский НИИСХ) установили, что минеральные удобрения в дозах N30P30K30–N150P150K150 способствовали повышению урожайности яровой пшеницы сорта Горноуральская на 3–17 ц/га по сравнению с контролем.

Окупаемость удобрений зависела от величины урожайности пшеницы и доз внесенных удобрений. В засушливые годы с резким снижением урожайности, а также с повышением доз удобрений их окупаемость прибавкой урожая снижа-

лась. В относительно благоприятных погодных условиях 1974 г. (1-я ротация), несмотря на внесение высоких доз удобрений величина окупаемости удобрений в зависимости от фона, хотя и была невысокой, но менялась в пределах удовлетворительных показателей: в варианте с внесением NPK в дозе 210 кг/га – 3.0–3.7, NP в дозе 150 кг/га – 3.1–4.8 кг/кг (табл. 3). Во 2-й ротации севооборота дозы удобрений были увеличены до 300 кг д.в. NPK/га и до 210 кг/га – NP и NK. К тому же засуха в одной из закладок опыта (в 1982 г.) отрицательно повлияла на урожайность. В результате показатели окупаемости удобрений в среднем за 2 года снизились практически до нуля, за исключением варианта с внесением 180 кг PK/га, где окупаемость составила 1.3–2.3 кг/кг вследствие большей урожайности.

Третья ротация по дозам удобрений была одинаковой с 1-й, а условия в среднем лишь немного лучше. Окупаемость удобрений в парных вариантах изменялась незначительно, в варианте NPK показатели увеличились до 4.6–5.0 против 3.0–3.7 кг/кг в 1-й ротации. Практически такой же была окупаемость NP-удобрений на фонах извести и извести + навоза. В 4-й ротации вследствие низкой урожайности пшеницы при дефиците влаги, окупаемость удобрений составила всего 0.3–2.2 кг/кг.

Значительно выше окупаемость 1 кг NPK-удобрений прибавкой урожая была в 5-й ротации севооборота, что связано с повышением урожайности и снижением доз удобрений до 40 кг д.в. каждого элемента/га. Окупаемость полного минерального удобрения N40P40K40 составила: на фоне без внесения извести и навоза – 9.8 кг зерна/кг NPK, на известкованном и известково-унавоженном фонах – 8.3–8.4, на фоне навоза – 5.7 кг/кг. В варианте N40 на фоне без извести и навоза (нулевой фон) окупаемость увеличилась до 11.5, на фоне извести – до 22.8 на унавоженных фонах – до 16.8–17.5 кг/кг. Наибольшая окупаемость фосфора в дозе 40 кг/га была получена на нулевом фоне (15.0) и на фоне извести с навозом – 13.2, калия – на фоне извести с навозом (14.8 кг/кг). Высокие показатели окупаемости яровой пшеницы были получены и в Республике Татарстан [13]. Расчеты проведены на основе временных рядов урожайности за 1964–2005 и 1964–2016 гг. отдельно минеральных, органических удобрений и их суммы в кг д.в. NPK в масштабе республики с использованием скользящих средних урожайности при длине шага 11 и 22 года. Получен следующий результат: для минеральных удобрений – 10.6–11.2, для органических – 13.3–18.7 и для их суммы – 5.3–7.0 кг зерна/кг удобрений.

Более показательными были усредненные данные двух закладок опыта в 6-й ротации севооборота, урожайность в которых из-за погодных условий резко отличалась. Кроме того, более детально изучали влияние доз удобрений. При внесении наименьших доз минеральных удобрений (N10P10K10) окупаемость их на разных фонах варьировала в пределах от 11.0 до 21.0 кг/кг. В опыте [8] при использовании дозы N20P10K10 окупаемость удобрений достигла величины 12.1 кг/кг. С повышением доз окупаемость снижалась. В наших опытах в среднем в зависимости от фона она составила: при N10P10K10 – 15.4, N20P20K20 – 6.3, N30P30K30 – 5.3, N40P40K40 – 4.0, N50P50K50 – 3.3, N60P60K60 – 3.5 кг/кг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Длительные исследования на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах Удмуртской Республики показали, что в благоприятные годы по количеству выпавших осадков на удобренных почвах урожайность яровой пшеницы может достигать 41 ц/га (36.4 ц/га в среднем за 2 года). При недостаточном количестве осадков урожайность снижалась до 18 ц/га и менее. Наибольшая урожайность пшеницы формировалась на известково-унавоженном фоне, далее – на унавоженном, известкованном и меньшая – на нулевом (без извести и навоза) фоне. На перечисленных фонах внесение полного минерального удобрения (NPK) обеспечивало получение наибольшей урожайности. С повышением удобренности фона оптимальная доза применения минеральных удобрений снижалась: с N50P50K50 на нулевом фоне и N40P40K40 на фоне извести до N30P30K30 на фоне навоза и N10P10K10 на фоне извести + навоза. Увеличение доз до N60P60K60 на известкованных фонах повышало урожайность яровой пшеницы.

Данные окупаемости удобрений свидетельствовали о ее зависимости от величины урожайности пшеницы и доз удобрений. С учетом уровня развития хозяйств, для получения урожайности зерна пшеницы 20–30 ц/га им рекомендуется вносить NPK от 10 до 60 кг д.в. каждого элемента/га, что может обеспечить получение окупаемости удобрений в пределах с 21 до 5 кг/кг на фоне извести с навозом, с 13 до 4 кг/кг на фоне навоза, с 16 до 3 кг/кг на нулевом и известкованном фонах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лыскова И.В. Влияние минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы, урожай-

- ность и качество зерновых культур // Аграр. наука Евро-Северо-Востока. 2017. № 6 (61). С. 35–40.
2. *Асеева Т.А., Савченко Н.Е., Суняйкин А.А.* Повышение окупаемости минеральных удобрений при возделывании зерновых культур в условиях Среднего Приамурья // Вестн. ДВО РАН. 2017. № 3. С. 27–28.
 3. *Soon Y.K.* Nutrients uptake by barley roots under field conditions // Plant Soil. 1988. V. 109. № 2. P. 171–179.
 4. *Кирюшин В.И.* Концепция адаптивно-ландшафтного земледелия. Пушкино: Пушкинский научн. центр РАН, 1993. 64 с.
 5. *Дзюин Г.П., Дзюин А.Г.* Модели адаптивно-ландшафтных систем земледелия в Вятско-Камской ландшафтной провинции: Монография. Ижевск: Ижевская ГСХА, 2010. 279 с.
 6. *Adamus M., Drozd J., Stanislawska E.* Wplyw zroznikowanego nawozenia organicznego i mineralnego na niektore elementy zuznosci gleby // Roczn gleboznawst. Warszawa, 1990. T. 40. № 1. S. 108–109.
 7. *Доспехов, Б.А.* Методика полевого опыта. М.: Колос, 1973. 336 с.
 8. *Бердников В.В.* Влияние удобрений и биопрепаратов на продуктивность яровой пшеницы в условиях Республики Марий Эл: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Саранск, 2002. 16 с.
 9. *Ланшин Ю.А.* Урожайность яровой пшеницы в зависимости от погоды, удобрений и вида агроценоза // Бюл. ВИУА. 2002. № 116. С. 273–215.
 10. *Макаров В.И., Шишкина Г.М., Шкляева М.А.* Урожайность яровой пшеницы в связи с содержанием питательных веществ в почве и листьях // Агрохимия и экология, история и современность: Мат-лы Международ. научн.- практ. конф. Т. 1. Нижнего-род. ГСХА. Н.Новгород: Изд-во ВВАГАС, 2008. С. 173–176.
 11. *Абашев В.Д., Попов Ф.А., Носкова Е.Н., Жук С.Н.* // Влияние минеральных удобрений на урожайность зерна яровой пшеницы // Перм. Аграрн. вестн. 2017. № 1 (17). С. 7–11.
 12. *Косолапова А.И., Возжаев В.И., Лейних П.А.* Урожайность и качество зерна яровой пшеницы в зависимости от применения удобрений // Перм. Аграрн. вестн. 2017. № 3 (19). С. 76–79.
 13. *Давлятишин И.Д., Лукманов А.А.* Урожайность яровой пшеницы и окупаемость удобрений // Научн. журн. "Почвоведение и агрохимия". Казах. научн.-исслед. ин-т почвовед. и агрохим. им. У.У. Усманова, 2017. № 3. С. 68–75.

Influence of Mineral Fertilizers and Weather Conditions on the Yield of Spring Wheat and the Payback of Fertilizers in a Long-Term Stationary Experiment

A. G. Dzyuin

*Udmurt Federal Research Center Ural Branch of the RAS
ul. Lenina 1, Zavyalovsky district, v. Pervomaisky, Izhevsk 427007, Udmurt Republic, Russia*

E-mail: ugnish@yandex.ru

The areas under crops of spring wheat in the Udmurt Republic, as well as in the North-Eastern zone of Non-Black Earth Russia, to which it is a part of its territory, have tended to expand in recent years. For 15 years in the republic, they have increased by 30 thousand hectares. However, due to low soil fertility, more frequent summer droughts, insufficient use of fertilizers, wheat yield remains low (about 14 kg ha on average over the past 10–12 years). An increase in its yield is possible by regulating the system of applying fertilizers. In this regard, the purpose of the work was to identify rational doses and a system of fertilization for spring wheat based on the analysis of the results of studies carried out in long-term stationary experience. The experience was laid in 1971–1972, on soddy-medium-podzolic medium-loamy soil in 2 tabs with indicators: pH_{KCl} 5.0, hydrolytic acidity (H_a) – 2.7, S – 14.8 mg-eq/100 g, P_2O_5 – 52.0, K_2O – 92 mg/kg soil, humus – 2.5%, 6 rotations of an 8-field crop rotation with crop alternation took place: black fallow, winter rye, potatoes in 1–3 rotations and corn in 4–5 rotations, spring wheat + clover, clover 1 year of use, clover 2 year of use, winter rye, barley. Experiment scheme: factor *A* – backgrounds: 0 – zero, Lim^2 – lime at 1 H_a in the 1st + 2 H_a each in the 2nd rotations, Man^3Gr man – manure 40 t/ha in 1st + 60 t/ha in 2–5 rotations + green manure in 6th rotation, Lim^2Man^5Gr man – in appropriate combinations. Factor *B* – mineral fertilizers. The experiment was repeated 4 times. Meteorological conditions – according to the data of the Central Geological Survey "Izhevsk". In favorable weather years, the yield of spring wheat on fertilized soils reached 36–41 c/ha. With a lack of precipitation, it dropped to 18 c/ha and more. The largest one was formed against a lime-fertilized background, then against a manured background and less against a lime-covered and zero background with the introduction of complete (NPK) fertilization with some decrease in the series of NP-, NK- and PK-fer-

tilizers. In the fertilization system, the optimal doses for wheat were: against a zero background N50P50K50, against a background of lime N40P40K40, against a background of manure N30P30K30, against a background of lime + manure N10P10K10. Against the background of manure and, especially, lime + manure, the efficiency of N60P60K60 increased. Farms, depending on the conditions of their development, in order to obtain 20–30 c ha of spring wheat on the appropriate backgrounds, are recommended to apply mineral fertilizers in doses from 10 to 60 kg active substance/ha of N, P and K, which can provide a level of their payback in the range from 21 to 5 against the background of lime with manure, from 13 to 4 against the background of manure, and from 16 to 3 kg/kg against zero and lime backgrounds, according to the doses.

Key words: crop rotation, spring wheat, yield, meteorological conditions, doses of fertilizers, lime, manure, payback of fertilizers