

УДК 631.816:632.91:631.582(470.2)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ В ПОЛЕВОМ СЕВООБОРОТЕ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ РФ

© 2021 г. А. М. Шпанев^{1,2,*}, М. А. Фесенко¹, В. В. Смук^{1,2}

¹Агрофизический научно-исследовательский институт
195220 Санкт-Петербург, Гражданский просп., 14, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений
196608 Санкт-Петербург—Пушкин, шоссе Подбельского, 3, Россия

*E-mail: ashpanev@mail.ru

Поступила в редакцию 24.03.2020 г.

После доработки 07.05.2020 г.

Принята к публикации 13.10.2020 г.

В многолетних исследованиях определено, что совместное применение минеральных удобрений и интегрированной системы защиты растений обеспечивает формирование наиболее высокой урожайности культур и продуктивности полевого севооборота на Северо-Западе РФ. Наименьшая прибавка урожайности от действия обоих факторов химизации отмечена на озимой ржи (30.2 ц/га или 90%), наибольшая – на яровом ячмене (24.6 ц/га или 138%), промежуточное положение занимали картофель (177 ц/га или 117%) и яровой рапс (13.1 ц/га или 127%). Основной вклад в формирование урожая ярового ячменя (17.9 ц/га или 100%) и озимой ржи (24.7 ц/га или 76%) осуществлялся за счет внесения минеральных удобрений, ярового рапса (10.4 ц/га или 90%) и картофеля (110 ц/га или 58%) – интегрированной системы защиты растений. Эффект взаимодействия от совместного применения удобрений и пестицидов был слабым (3.6–16.5%) и не постоянным на всех культурах. Рост продуктивности севооборота при улучшении питательного режима культурных растений и фитосанитарной обстановки достигал 16.2–22.7 ц з.е./га (50.9–71.4%).

Ключевые слова: севооборот, минеральные удобрения, интегрированная система защиты растений, фитосанитарное состояние, комплексное влияние средств химизации.

DOI: 10.31857/S0002188121010099

ВВЕДЕНИЕ

Масштабные исследования, проведенные в период интенсивного развития растениеводства в нашей стране и в ближнем зарубежье, продемонстрировали существенные преимущества комплексного применения средств химизации при возделывании разных культур в разных природно-климатических зонах. При этом основными средствами реализации продуктивности культурных растений как раньше, так и сейчас, выступают удобрения и средства защиты растений [1–6].

Большинство литературных данных посвящены изучению совместного применения удобрений и отдельных защитных мероприятий, тогда как хорошо известно, что гарантированную защиту будущего урожая способна обеспечить только полноценная система интегрированной защиты растений [7, 8]. Значительно реже встречаются в литературе результаты исследований совместного применения минеральных удобре-

ний и всего набора защитных мероприятий, обусловленного фактической фитосанитарной обстановкой в конкретных условиях года или опытного поля. Например, внесение азота в дозе 90 кг/га и использование интегрированной системы защиты растений позволяло получать на дерново-подзолистых почвах Московской обл. урожайность ярового ячменя на уровне 44.8–65.1 ц/га [9]. Совместное использование средств защиты растений и минеральных удобрений под яровую пшеницу в лесостепи Западной Сибири обеспечивало прибавку урожайности зерна 15–17 ц/га и гарантировало получение 26–37 ц/га [10]. Оптимальное сочетание применяемых средств химизации в плодосменном севообороте обеспечивало реализацию планируемого уровня урожайности зерна озимой пшеницы в условиях Брянской обл. от 53.7 до 59.5 ц/га [11]. В Центральном регионе на фоне органо-минеральной системы удобрения и интегрированной системы защиты растений

урожайность озимой пшеницы достигала 77–86, ярового ячменя – 75–77 ц/га [12]. По нашим данным, комплексное применение минеральных удобрений и интегрированной системы защиты растений обеспечивало прибавку урожайности ярового ячменя на Северо-Западе РФ от 18.6 до 31.2 ц/га в зависимости от погодных условий периода вегетации и проявления фитосанитарной обстановки [13].

Еще меньше сведений в литературе относительно эффектов, связанных с улучшением питательного режима растений и фитосанитарной обстановки, в рамках всего набора культур, возделываемых на севооборотной площади. Известно, что рост продуктивности основной продукции в полевом севообороте при комплексном применении удобрений и пестицидов сопровождается улучшением агрохимических свойств почвы, а именно повышением содержания гумуса, насыщения основаниями, концентрации подвижного фосфора и обменного калия, снижением гидролитической кислотности [14, 15].

Цель работы – оценка многолетней хозяйственной эффективности совместного применения минеральных удобрений и интегрированной системы защиты растений в полевом севообороте на Северо-Западе России.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили на агроэкологическом стационаре Меньковского филиала Агрофизического НИИ (Ленинградская обл., Гатчинский р-н) в период очередной ротации (2012–2017 гг.) полевого севооборота, представляющего собой длительный эксперимент, функционирующий с 1982 г. Состав и чередование культур в севообороте – традиционные для Северо-Западного региона: сидеральный пар (люпин узколистный)–озимая рожь–яровой ячмень с подсевом многолетних трав (тимopheевка луговая + клевер красный)–многолетние травы 1-го года пользования, многолетние травы 2 года пользования–картофель–рапс. Изучение озимой ржи из-за крайне неблагоприятной перезимовки в 2011 г. ограничилось 2013–2017 гг. и ярового рапса, за исключением 2016 г., когда посев оказался очень изреженным вследствие повышенной глубины заделки семян при высеве и сильного повреждения всходов крестоцветными блошками.

Почва опытных полей – дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая. Мощность пахотного слоя 23 см, pH_{KCl} 4.6, содержание гумуса (по Тюрину) – 1.9%, подвижных соединений фосфора и

калия (по Кирсанову) – 257 и 92 мг/кг соответственно.

Схемой опыта в севообороте было предусмотрено изучение 3-х уровней удобренности, формируемых предпосевным внесением азофоски и аммиачной селитры из расчета планируемой урожайности под озимую рожь, яровой ячмень, картофель, яровой рапс и многолетние травы 2-го года пользования. В варианте высокой удобренности доза NPK составляла 100, 75 и 75 кг д.в./га, средней – 65, 50 и 50 кг д.в./га, низкой – удобрения не вносили. Влияние длительного применения удобрений отразилось на агрохимических показателях почвы полей севооборота, которые для различных уровней удобренности составляли: азота – 93, 107, 110 мг/кг, фосфора – 208, 266, 268 мг/кг, калия – 88, 90, 98 мг/кг, органического вещества – 3.05, 3.42, 3.75%.

Вторым изученным фактором в опыте являлась интегрированная система защиты растений (ИСЗР), согласно которой защитные мероприятия против вредных организмов проводили при условии превышения пороговых величин их присутствия в посевах. Остальные элементы интегрированной защиты в условиях Северо-Запада России реализуются не в полной мере. При этом использованные в нашем опыте сорта обладают определенной устойчивостью к местным расам возбудителей заболеваний, что подтверждено данными оригинатора. Агротехнический метод реализован в научно обоснованном, в том числе с точки зрения фитосанитарных последствий, чередовании культур в севообороте, оптимальных сроках сева и сжатых по возможности ранних сроках уборки, а также соблюдении агротехники возделывания культур. Биологический метод, по результатам наших исследований, с применением биопрепаратов в защите от болезней на яровом ячмене и картофеле [16, 17] на данном этапе не обеспечивал высокой степени защиты культурных растений от вредных организмов и не имел оснований к широкому применению.

Система интегрированной защиты озимой ржи состояла из обязательного протравливания посевного материала препаратами винцит Форте, КЭ (1.0 л/т), максим, КС (2 л/т), максим Экстрим, КС (1.8 л/т), одно- или двукратного применения фунгицидов в период вегетации культуры (препараты амистар Экстра, СК (0.6 л/га), альто Супер, КЭ (0.4 л/га), титул Дуо, ККР (0.25 л/га), фоликур, КЭ (1.0 л/га)), а также гербицидной обработки (прима, СЭ (0.6 л/га)), проводимой в редких случаях.

На яровом ячмене в защите от семенной и почвенной инфекции в разные годы проводили обработку семян фунгицидами клад, КС (0.4 л/т), винцит Форте, КЭ (1.0 л/т), ламадор, КС (0.2 л/т), систива, КС (0.5 л/т), в защите от болезней листового аппарата и колоса – в фазе начала колошения обработка вегетирующих растений фунгицидами альто Супер, КЭ (0.4 л/га), зантара, КЭ (0.8 л/га), прозаро, КЭ (0.8 л/га), солигор, КЭ (0.7 л/га), титул Дуо, ККР (0.3 л/га). Против сорной растительности в фазе первого тройчатого листа клевера красного проводили ежегодную обработку посевов ярового ячменя гербицидами агритокс, ВК (1 л/га), базагран, ВР (2 л/га). В годы массового размножения черемухово-злаковой тли применяли инсектициды фуфанон, КЭ (1 л/га), каратэ Зеон, МКС (0.15 л/га).

Система защиты картофеля включала предпосадочную обработку клубней одним из инсектофунгицидных препаратов – престиж, КС (1.0 л/т), селест Топ, КС (0.4 л/т), применение гербицидов за 3–5 сут до появления всходов картофеля – торнадо, ВР (3 л/га) и при высоте растений 10–15 см – титул, СТС (50 г/га) + тренд 90 (80 мл/га), проведение 2–4-х фунгицидных обработок с интервалом в 10–14 сут – ридомил Голд МЦ, ВДГ (2.5 кг/га), сектин Феномен, ВДГ (1.25 кг/га), инфинито, КС (1.4 л/га), полирам, ВДГ (2 кг/га).

На яровом рапсе проводили предпосевную обработку семян инсектицидом круйзер, КС (10 л/т), табу, ВСК (8 л/т), до появления всходов культурных растений – обработка гербицидом дуал Голд, КЭ (1.3 л/га), в фазах розетки листьев и бутонизации – обработка инсектицидами против капустной моли препаратом фуфанон, КЭ (0.15 л/га) и рапсового цветоеда – децис Профи, ВДГ (0.03 кг/га), децис Эксперт, КЭ (0.125 л/га), каратэ Зеон, МКС (0.1 л/га), калипсо, КС (0.1 л/га), при образовании стручков в нижнем ярусе растений – фунгицидами амистар Экстра, СК (1.0 л/га), прозаро, КЭ (0.6 л/га), аканто Плюс, КС (0.6 л/га).

Совместное применение минеральных удобрений и средств защиты растений осуществляли только на озимой ржи, яровом ячмене, картофеле и яровом рапсе. Изученные сорта селекции ЛенНИИСХ “Белогорка”: Славия (озимая рожь), Ленинградский (яровой ячмень), Сударыня (картофель), Оредеж 4 (яровой рапс), допущенные к возделыванию в Северо-Западном регионе. Минеральные удобрения и средства защиты растений вносили механически соответственно поперек и вдоль полей севооборота.

Площадь делянок под каждым из вариантов составляла 0.18 и 0.27 га, площадь одного поля севооборота – 0.60 га, общая площадь под опытом – 4.2 га. Повторность в опыте трехкратная.

Погодные условия в период активной вегетации культур полевого севооборота существенно различались в годы исследования. Избыточное количество осадков выпадало в 2012 г. (139%) и 2013 г. (217%), меньше нормы – в 2015 г. (74%) и 2017 г. (77%), близкое к среднемноголетней норме – в 2014 г. (92%) и 2016 г. (108%). В 2012 г. засушливый период пришелся на 1-ю декаду июня и первые 2 декады июля, в 2013 г. – 3-ю декаду июня, 2014 г. – на весь июль и 1-ю декаду августа, 2015 г. – 2 первые декады июня, 1-е декады июля и августа, 2016 г. – 2-ю и 3-ю декады мая, 2017 г. – 2-ю декаду июня, 1-ю декаду июля, 2 первые декады августа. Наиболее теплыми годами оказались 2013 г. (121%) и 2014 г. (112%), остальные были близки к среднемноголетней норме суточных температур.

Для оценки фитосанитарного состояния посевов и посадки культур севооборота использовали методику постоянных учетных площадок с их стационарным размещением на протяжении всего периода вегетации культур [18, 19]. Площадь постоянных площадок в посевах зерновых культур и ярового рапса составляла 0.1 м², картофеля – 1.4 м². В каждом варианте опыта устанавливали от 6 (картофель) до 12 (зерновые, рапс) постоянных площадок, всего на поле – 54–72. На постоянных площадках определяли видовой состав, численность, проективное покрытие и фитомассу сорных растений в отдельности по видам, поврежденность культурных растений вредителями и развитие болезней. На них же несколько раз за вегетацию определяли густоту и высоту стеблестоя культурных растений, урожайность и основные элементы структуры урожая.

Оценку экономической эффективности применения минеральных удобрений и интегрированной системы защиты растений проводили в соответствии с методикой, разработанной Гончаровым [20]. При расчете экономических показателей исходили из фактической стоимости примененных агрохимикатов, дизельного топлива, использования соответствующих технических средств, оплаты труда тракториста и специалиста по фитосанитарному мониторингу, а также средней рыночной цены реализации зерновых культур, рапса и картофеля в Северо-Западном регионе.

Статистическую обработку полученных данных проводили методом дисперсионного анализа в программе Statistica 6.

Таблица 1. Экономическая эффективность совместного применения минеральных удобрений и интегрированной системы защиты растений в посеве озимой ржи в Северо-Западном регионе РФ

Год	Вариант	Урожайность, ц/га		Прибавка урожайности					
				от удобрений		от пестицидов		от удобрений и пестицидов	
		Без ИСЗР	ИСЗР	ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%
2013	N0P0K0 (контроль)	27.0	32.0	—	—	5.0	19	—	—
	N65P50K50	42.4	44.9	15.4	57	2.5	6	17.9	66
	N100P75K75	45.8	49.7	18.8	70	3.9	9	22.7	84
2014	N0P0K0 (контроль)	34.1	46.1	—	—	12.0	35	—	—
	N65P50K50	58.1	58.7	24.0	70	0.6	1	24.6	72
	N100P75K75	61.2	69.9	27.1	79	8.7	14	35.8	105
2015	N0P0K0 (контроль)	47.6	57.3	—	—	9.7	20	—	—
	N65P50K50	71.6	79.7	24.0	50	8.1	11	32.1	67
	N100P75K75	80.8	95.4	33.2	70	14.6	18	47.8	100
2016	N0P0K0 (контроль)	26.7	26.3	—	—	0	0	—	—
	N65P50K50	42.9	48.0	16.2	61	5.1	12	21.3	80
	N100P75K75	51.0	52.1	24.3	91	1.1	2	25.4	95
2017	N0P0K0 (контроль)	28.4	31.9	—	—	3.5	12	—	—
	N65P50K50	55.0	63.9	26.6	94	8.9	16	35.5	125
	N100P75K75	65.6	67.5	37.2	131	1.9	3	39.1	138
2013–2017	N0P0K0 (контроль)	32.8	38.7	—	—	5.9	18	—	—
	N65P50K50	54.0	59.0	21.2	65	5.0	9	26.2	80
	N100P75K75	60.9	66.9	28.1	86	6.0	10	34.1	104

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Среди возделываемых в севообороте культур самую слабую отзывчивость на улучшение минерального питания и фитосанитарного состояния посевов показала озимая рожь. Совместное применение агрохимикатов обеспечивало повышение урожайности этой культуры на 26.2–34.1 ц/га, что в относительных показателях от контроля составило 80–104%. Обращает на себя внимание стабильная ситуация в отношении проявления хозяйственного эффекта, который на протяжении большинства годов в варианте средней удобрённости составлял 66–80%, высокой – 84–105% (табл. 1). Повышение урожайности происходило в основном за счет увеличения густоты продуктивного стеблестоя (49–64%), в меньшей степени за счет количества (13–15%) и массы (3–10%) зерен в колосе, тогда как масса 1000 зерен оставалась без изменений.

Эффективность минеральных удобрений на озимой ржи выражалась прибавками урожая в 21.2 и 28.1 ц/га (65 и 86%) при внесении средних и высоких доз. На фоне остальных выделялся 2017 г., когда из-за затяжной весны и длительного сохранения на полях снежного покрова наблюдали

сильную гибель растений от снежной плесени (67.3%). Внесение минеральных удобрений повышало выносливость растений к данному заболеванию, что приводило к снижению доли погибших растений в 1.3 и 1.4 раза соответственно в вариантах средней и высокой удобрённости [21]. В значительной степени за счет этого эффекта в 2017 г. была получена самая большая прибавка урожайности в удобренных вариантах.

Интегрированная система защиты растений, вследствие обычно вполне удовлетворительной фитосанитарной обстановки [22], слабо влияла на формирование урожая озимой ржи. По усредненным данным, величина сохраненного урожая составляла 5.6 ц/га (12.3%), в разные годы – от 2.1 (4.7%) до 7.1 ц/га (16.7%). При этом в неудобренном варианте, где сильнее проявлялась вредность снежной плесени, хозяйственная эффективность защитных мероприятий была в 1.8 раза выше, чем в высокоудобренном варианте.

Более сильные эффекты от комплексного применения средств химизации фиксировали на картофеле. Прибавка урожайности в удобренных и защищенных вариантах в зависимости от дозировки составила 145–209 ц/га (96–138%). Варьи-

Таблица 2. Хозяйственная эффективность совместного применения минеральных удобрений и интегрированной системы защиты растений в посеве картофеля в Северо-Западном регионе РФ

Год	Вариант	Урожайность, ц/га		Прибавка урожайности					
				от удобрений		от пестицидов		от удобрений и пестицидов	
		Без ИСЗР	ИСЗР	ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%
2012	N0P0K0 (контроль)	120	255	—	—	135	112	—	—
	N65P50K50	233	332	113	94	98.5	42	212	176
	N100P75K75	255	366	135	112	112	44	246	205
2013	N0P0K0 (контроль)	73.3	185	—	—	112	152	—	—
	N65P50K50	74.6	204	1.3	2	129	173	131	178
	N100P75K75	61.4	207	0	0	145	237	134	182
2014	N0P0K0 (контроль)	147	127	—	—	0	0	—	—
	N65P50K50	199	212	51.9	35	13.1	7	65.0	44
	N100P75K75	231	283	83.1	56	52.1	23	135	92
2015	N0P0K0 (контроль)	280	275	—	—	0	0	—	—
	N65P50K50	399	344	119	42	0	0	63.8	23
	N100P75K75	354	462	74.0	26	108	30	182	65
2016	N0P0K0 (контроль)	120	251	—	—	132	110	—	—
	N65P50K50	176	373	56.8	48	196	111	253	212
	N100P75K75	223	400	103.6	87	177	79	281	235
2017	N0P0K0 (контроль)	171	289	—	—	118	69	—	—
	N65P50K50	119	304	0	0	186	109	134	78
	N100P75K75	130	450	0	0	319	187	279	164
2012–2017	N0P0K0 (контроль)	152	233	—	—	80.8	53	—	—
	N65P50K50	200	297	48.4	32	96.9	48	145	96
	N100P75K75	209	361	57.2	38	152	73	209	138

рование данного показателя по годам было значительным и находилось в пределах 23–212% и 65–235% соответственно в средне- и высокоудобренном вариантах (табл. 2). Наиболее сильное влияние ИХЗР оказывала на продуктивные характеристики картофеля, а именно на массу клубней с одного растения (94–121%) и массу 1-го клубня (70%). Количество клубней с растения увеличивалось под действием агрохимикатов на 18–32%, густота продуктивных растений – 4–11%.

На картофеле, в отличие от озимой ржи, более сильное влияние на урожайность оказывали защитные мероприятия, чем внесение удобрений. Такое положение обусловлено высокой вредоносностью отдельных вредных организмов в природно-климатических условиях Северо-Запада России. К таковым в первую очередь относится фитофтороз, при раннем проявлении способный уничтожить большую часть урожая [23]. Самая высокая отдача от реализуемой в нашем опыте системы интегрированной защиты картофеля от-

мечена в годы эпифитотийного развития фитофтороза (2013 и 2016 гг.), самая низкая – в годы депрессивного развития данного заболевания (2014 и 2015 гг.). Средняя величина сохраненного урожая картофеля при проведении всего необходимого набора защитных мероприятий составила 110 ц/га, или 58% от фактической урожайности культуры, равной 297 ц/га. По усредненным данным 2012–2017 гг., эффективность интегрированной системы защиты картофеля увеличивалась на 20% на фоне внесения высоких доз минеральных удобрений.

Среднепогодная прибавка урожая от внесения минеральных удобрений составила 32–38% и только в 2012 г. была значительно больше (94–112%). В 2013 и 2017 гг. положительные эффекты, связанные с действием удобрений, нивелировались сильным поражением посадок картофеля фитофторозом. В полной мере реализовать продуктивный потенциал растений в удобренных вариантах опыта позволяли защитные обработки.

Таблица 3. Хозяйственная эффективность совместного применения минеральных удобрений и интегрированной системы защиты растений в посевах ярового рапса в Северо-Западном регионе РФ

Год	Вариант	Урожайность, ц/га		Прибавка урожайности					
				от удобрений		от пестицидов		от удобрений и пестицидов	
		Без ИСЗР	ИСЗР	ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%
2012	N0P0K0 (контроль)	16.0	15.6	—	—	0	0	—	—
	N65P50K50	21.9	35.2	5.9	37	13.3	61	19.2	120
	N100P75K75	20.3	29.1	4.3	27	8.8	43	13.1	82
2013	N0P0K0 (контроль)	0.3	9.2	—	—	8.9	30.7*	—	—
	N65P50K50	7.4	15.5	7.1	24.7*	8.1	2.1*	15.2	51.7*
	N100P75K75	5.8	17.5	5.5	19.3*	11.7	3.0*	17.2	58.3*
2014	N0P0K0 (контроль)	8.8	18.3	—	—	9.5	108	—	—
	N65P50K50	15.6	21.6	6.8	77	6.0	68	12.8	145
	N100P75K75	14.6	24.6	5.8	66	10.0	114	15.8	179
2015	N0P0K0 (контроль)	21.4	31.1	—	—	9.7	45	—	—
	N65P50K50	12.2	25.6	0	0	13.4	110	4.2	20
	N100P75K75	11.2	21.7	0	0	10.5	94	0.3	1
2017	N0P0K0 (контроль)	11.0	21.5	—	—	10.5	95	—	—
	N65P50K50	8.8	27.8	0	0	19.0	216	16.8	153
	N100P75K75	3.3	17.6	0	0	14.3	433	6.6	60
2012–2015, 2017	N0P0K0 (контроль)	10.3	19.2	—	—	8.9	86	—	—
	N65P50K50	13.2	24.8	2.9	28	11.6	88	14.5	141
	N100P75K75	11.2	21.9	0.9	9	10.7	95	11.6	113

*Прибавка урожайности приведена в разгах.

Например, разница в урожайности в удобренных и неудобренных вариантах на фоне интегрированной системы защиты картофеля составляла 28–55% и стабильно фиксировалась на протяжении всего периода исследования, включая 2013 г. (10–12%) и 2017 г. (5–56%).

Совместное применение минеральных удобрений и средств защиты растений в посевах ярового рапса обеспечивало формирование урожайности семян 21.9–24.8 ц/га, что превосходило контроль на 11.6–14.5 ц/га (113–141%) (табл. 3). В 2013 г. из-за практически полностью уничтоженного урожая капустной моли в контрольном варианте прибавка урожайности ярового рапса от средств химизации достигла 15.2–17.2 ц/га, что составило 51.7–58.3 раза (табл. 4). Повышение урожайности происходило в основном за счет количества и массы семян с растения, которые увеличивались на фоне применения удобрений и средств защиты растений на 140 и 139% соответственно.

Ввиду сложной фитосанитарной обстановки, обусловленной сильной засоренностью посевов,

высокой вредоносностью фитофагов и фитопатогенов, возделывание этой культуры на Северо-Западе России без системы интегрированной защиты растений нецелесообразно. Об этом свидетельствовала фактическая урожайность культуры, полученная за годы исследования, которая была равна 11.6 ц/га. При этом в годы сильного развития альтернариоза урожайность снижалась до 7.7 ц/га, массового размножения капустной моли – до 4.5 ц/га. По результатам проведения всех необходимых защитных мероприятий усредненная за годы исследования величина сохраненного урожая ярового рапса составляла 10.4 ц/га (90%), в годы массового размножения капустной моли достигала 9.6 ц/га (213%), сильного развития альтернариоза – 14.6 ц/га (248%).

В отсутствии защитных мероприятий нецелесообразным становится внесение удобрений. В отдельные годы складывалась ситуация, что в удобренных вариантах была получена урожайность рапса в 1.8 раза меньшая, чем в неудобренных. Внесение удобрений приводило к удлинению периода вегетации и сроков созревания ярового рапса, как следствие, более сильному

Таблица 4. Хозяйственная эффективность совместного применения минеральных удобрений и интегрированной системы защиты растений в посеве ярового ячменя в Северо-Западном регионе РФ

Год	Вариант	Урожайность, ц/га		Прибавка урожайности					
				от удобрений		от пестицидов		от удобрений и пестицидов	
		Без ИСЗР	ИСЗР	ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%
2012	N0P0K0 (контроль)	19.2	26.3	—	—	7.1	37	—	—
	N65P50K50	31.4	42.2	12.2	64	10.8	34	23.0	120
	N100P75K75	39.1	49.7	19.9	104	10.6	27	30.5	159
2013	N0P0K0 (контроль)	11.2	15.4	—	—	4.2	38	—	—
	N65P50K50	22.2	31.7	11.0	98	9.5	43	20.5	183
	N100P75K75	29.9	32.7	18.7	167	2.8	9	21.5	192
2014	N0P0K0 (контроль)	12.5	32.2	—	—	19.7	158	—	—
	N65P50K50	34.3	41.5	21.8	174	7.2	21	29.0	232
	N100P75K75	34.0	45.8	21.5	172	11.8	35	33.3	266
2015	N0P0K0 (контроль)	29.5	28.2	—	—	0	0	—	—
	N65P50K50	42.1	47.5	12.6	43	5.4	13	18.0	61
	N100P75K75	52.3	48.7	22.8	77	0	0	19.2	65
2016	N0P0K0 (контроль)	14.4	12.3	—	—	0	0	—	—
	N65P50K50	27.3	30.3	12.9	90	3.0	11	15.9	110
	N100P75K75	33.3	35.7	18.9	131	2.4	7	21.3	148
2017	N0P0K0 (контроль)	19.9	24.2	—	—	4.3	22	—	—
	N65P50K50	37.5	49.7	17.6	88	12.2	33	29.8	150
	N100P75K75	46.9	56.2	27.0	136	9.3	20	36.3	182
2012–2017	N0P0K0 (контроль)	17.9	23.0	—	—	5.1	28	—	—
	N65P50K50	32.4	40.4	14.5	81	8.0	25	22.5	126
	N100P75K75	39.2	44.6	21.3	119	5.4	14	26.7	149

поражению культурных растений альтернариозом. Обратные эффекты можно наблюдать в годы массового размножения капустной моли, все чаще случающиеся на Северо-Западе РФ, из-за того, что культурные растения, испытывающие дефицит минерального питания, небольшие по высоте и массе, уничтожаются гусеницами в значительной степени [24].

Полученные данные указывали на то, что внесение средних доз минеральных удобрений обеспечивало формирование большей урожайности ярового рапса, чем высоких. Разница в урожайности между соответствующими вариантами опыта в отсутствие защитных мероприятий составила 2.0 ц/га, на фоне интегрированной системы защиты – 2.9 ц/га.

Самая высокая результативность совместного применения минеральных удобрений и интегрированной системы защиты растений выявлена в посевах ярового ячменя. Прибавка урожайности в соответствующих вариантах опыта составила

22.5–26.7 ц/га, или 126–149%. Наибольшая прибавка урожайности ярового ячменя от действия обоих факторов отмечена в 2014 г. (232–266%), наименьшая – в 2015 г. (61–65%). Основными элементами структуры урожая, за счет которых происходило повышение урожайности ярового ячменя, являлись густота продуктивного стеблестоя (65–78%), масса (37–39%) и количество (29–30%) зерен в колосе, в меньшей степени – масса 1000 зерен (9–10%).

Основной вклад в формирование урожайности ярового ячменя достигался за счет применения минеральных удобрений. На протяжении большинства лет исследования прибавка урожая ярового ячменя в варианте средней удобренности составляла 11.0–12.9 ц/га (43–98%), высокой удобренности – 18.7–22.8 ц/га (77–167%). При этом между вариантами со средними и высокими дозами удобрений в абсолютном большинстве случаев наблюдали достоверные различия в урожайности с варьированием по годам от 6.0 до 10.2 ц/га.

Таблица 5. Вклад основных средств химизации в формирование урожайности культур полевого севооборота на Северо-Западе РФ

Год	Культура/Факторы											
	озимая рожь			яровой ячмень			картофель			яровой рапс		
	МУ	ИСЗР	МУ–ИСЗР	МУ	ИСЗР	МУ–ИСЗР	МУ	ИСЗР	МУ–ИСЗР	МУ	ИСЗР	МУ–ИСЗР
2012	—	—	—	34.1*	19.2*	0.5	21.1*	25.2*	0.4	37.3*	16.1*	6.1*
2013	31.2*	1.9	1.6	32.1*	4.1*	1.1	0.3	85.0*	1.0	19.6*	51.9*	1.8
2014	36.8*	3.8*	4.1*	32.8*	21.9*	3.6*	58.2*	1.3	5.4*	12.0*	30.7*	1.3
2015	53.1*	7.1*	0.5	52.0*	0.01	2.3	42.8*	0.9	16.5*	13.0*	23.4*	0.5
2016	47.2*	0.5	0.5	70.8*	0.3	1.2	23.9*	60.4*	1.6	—	—	—
2017	60.9*	0.9	2.0	70.1*	8.3*	1.2	6.6*	63.2*	10.3*	12.4*	59.9*	3.4*
2012–2017	45.8*	2.8	1.4	48.7*	9.0*	1.7	25.5*	39.3*	5.9*	18.9*	36.4*	2.6

Примечание. МУ – минеральные удобрения, ИСЗР – интегральная система защиты растений. То же в табл. 6.

*Различия достоверны при $P \geq 0.95$.

Максимальная прибавка урожая в удобренных вариантах отмечена в 2014 г., когда в критический период для роста и развития ярового ячменя, приходящийся на фазы появление всходов–кущение, выпало избыточное (на 74%) количество осадков, сопровождавшееся повышенным (на 33%) температурным режимом.

Система интегрированной защиты обеспечивала величину сохраненного урожая ярового ячменя, равную 6.3 ц/га (21%). Наибольший хозяйственный эффект от применения средств защиты растений составлял 12.9 ц/га (48%), когда в посевах ярового ячменя отмечена самая неблагоприятная фитосанитарная обстановка. Например, в 2014 г. густота сорных растений в фазе кушения культуры достигала 958 экз./м² при проективном покрытии 43.6%, развитие корневых гнилей – 33.8%, гельминтоспориозных пятнистостей листьев в фазе молочно-восковой спелости – 20.6%. В ситуации слабой засоренности посева (9.8% проективного покрытия), слабого поражения растений ячменя корневыми гнилями (2.5%) и гельминтоспориозом (3.8%), как это было в 2015 г., применение всего комплекса защитных мероприятий было неоправданно, поскольку не приводило к достоверному повышению урожайности. При этом хозяйственная эффективность защитных мероприятий была в 2.0 раза больше в неудобренном варианте, где сильнее проявлялась вредоносность корневых гнилей и гельминтоспориозных пятнистостей листьев [25].

Вклад основных факторов химизации в формирование урожайности культур полевого севооборота хорошо виден по результатам дисперсионного анализа (табл. 5). Влияние минерального питания составляло от 48.7% для ярового ячменя

до 18.9% для ярового рапса, интегрированной системы защиты растений – от 39.3% для картофеля до 2.8% для озимой ржи. Самое стабильное по годам влияние защитных мероприятий отмечено для ярового рапса, самое значительное – для картофеля при эпифитотийном развитии фитофтороза. Эффект взаимодействия от совместного применения удобрений и пестицидов отмечен чаще всего для картофеля и не превышал 16.5% влияния на урожайность этой культуры. Для других культур достоверные случаи взаимодействия обоих факторов химизации наблюдали значительно реже и ограничивались 3.6% для ярового ячменя, 4.1% – озимой ржи, 6.1% – ярового рапса. Взаимодействие обеспечивало формирование более высокой урожайности культур севооборота по сравнению с отдельным влиянием удобрений и защитных обработок.

Для объективной оценки совместного влияния минеральных удобрений и защитных мероприятий на продуктивность севооборота был проведен перерасчет урожайности возделываемых культур в единые показатели, а именно выход зерновых единиц (з.е.) с 1 га севооборотной площади. При этом в расчетах участвовали все культуры севооборота, включая многолетние травы. Оказалось, что влияние удобрений выражалось увеличением продуктивности севооборота на 8.0–10.6 ц з.е./га (25.2–33.3%), интегрированной системы защиты растений – 6.0–12.1 ц з.е./га (18.9–28.5%), обоих факторов химизации – 16.2–22.7 ц з.е./га (50.9–71.4%).

Наибольший чистый доход от применения удобрений и интегрированной системы защиты растений был получен на картофеле и яровом рапсе, где он составил соответственно 146419–

Таблица 6. Экономическая эффективность совместного применения минеральных удобрений и интегрированной системы защиты растений в посевах культур полевого севооборота в Северо-Западном регионе РФ

Наименование	Фон минерального питания и защиты растений					
	N0P0K0		N65P50K50		N100P75K75	
	Без ИСЗР	ИСЗР	Без ИСЗР	ИСЗР	Без ИСЗР	ИСЗР
Озимая рожь						
Полученный урожай, ц/га	32.8	38.7	54.0	59.0	60.9	66.9
Сохраненный урожай, ц/га	—	5.9	21.2	26.2	28.1	34.1
Стоимость сохраненного урожая, руб./га	—	4130	14840	18340	19670	23870
Затраты на защиту растений и внесение удобрений, руб./га	—	900	10941	14888	15274	19221
Затраты на уборку и доработку сохраненного урожая, руб./га	—	177	636	786	843	1023
Чистый доход, руб./га	—	3053	3263	2666	3553	3626
Яровой рапс						
Полученный урожай, ц/га	10.3	19.2	13.2	24.8	11.2	21.9
Сохраненный урожай, ц/га	—	8.9	2.9	14.5	0.9	11.6
Стоимость сохраненного урожая, руб./га	—	89000	29000	145000	9000	116000
Затраты на защиту растений и внесение удобрений, руб./га	—	10423	10941	24771	15274	29104
Затраты на уборку и доработку сохраненного урожая, руб./га	—	267	87	435	27	348
Чистый доход, руб./га	—	78310	17972	119794	—	86548
Картофель						
Полученный урожай, ц/га	152	233	200	297	209	361
Сохраненный урожай, ц/га	—	80.8	48.4	145.3	57.2	209.4
Стоимость сохраненного урожая, руб./га	—	109807	60597	244831	71614	281434
Затраты на защиту растений и внесение удобрений, руб./га	—	19611	6151	25762	9323	28934
Затраты на уборку и доработку сохраненного урожая, руб./га	—	40400	24200	72650	28600	104700
Чистый доход, руб./га	—	49796	30246	146419	33691	147800
Яровой ячмень						
Полученный урожай, ц/га	17.9	23.0	32.4	40.4	39.2	44.6
Сохраненный урожай, ц/га	—	5.1	14.5	22.5	21.3	26.7
Стоимость сохраненного урожая, руб./га	—	4590	13050	20250	19170	24030
Затраты на защиту растений и внесение удобрений, руб./га	—	1263	10941	14150	15274	18483
Затраты на уборку и доработку сохраненного урожая, руб./га	—	153	435	675	639	801
Чистый доход, руб./га	—	3174	1674	5425	3257	4746

147800 и 86548–119974 руб./га. Среди зерновых культур, возделываемых в севообороте, прибыль от применения средств химизации оказалась больше при возделывании ярового ячменя, чем озимой ржи (табл. 6). При этом проведение защитных обработок на фоне внесения высокой дозы минеральных удобрений на большинстве культур оказалось экономически не целесообразным. Оптимальным вариантом можно считать внесение средней дозы минеральных удобрений и проведение мероприятий, предусмотренных системой интегрированной защиты. В этом случае за счет интегрированной защиты растений экономический эффект возрастал в 3.2 раза при возделывании ярового ячменя, 4.8 раза – картофеля, 6.7 раза – ярового рапса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совместное применение минеральных удобрений и интегрированной системы защиты растений обеспечивало формирование наиболее высокой урожайности культур и продуктивности полевого севооборота на Северо-Западе РФ. Наименьшая прибавка урожайности от действия обоих факторов химизации отмечали в посевах озимой ржи (30.2 ц/га или 90%), наибольшая – ярового ячменя (24.6 ц/га или 138%), промежуточное положение занимали картофель (177.4 ц/га или 117%) и яровой рапс (13.1 ц/га или 127%). Рост продуктивности севооборота при улучшении питательного режима культурных растений и фитосанитарной обстановки достигал 16.2–22.7 ц з.е./га (50.9–71.4%).

Основной вклад в формирование урожая ярового ячменя (17.9 ц/га или 100%) и озимой ржи (24.7 ц/га или 76%) осуществлялся за счет внесения минеральных удобрений, ярового рапса (10.4 ц/га или 90%) и картофеля (110 ц/га или 58%) – интегрированной системы защиты растений. Эффект взаимодействия от совместного применения удобрений и пестицидов был слабым и не постоянным, не превышал 16.5% влияния на урожайность картофеля, 6.1% – ярового рапса, 4.1% – озимой ржи, 3.6% – ярового ячменя.

Наибольшая эффективность интегрированной системы защиты растений приходилась на годы сильного поражения озимой ржи снежной плесенью, картофеля – фитофторозом, ярового ячменя – корневыми гнилями, гельминтоспориозными пятнистостями листьев и засоренностью посевов, ярового рапса – альтернариозом и повреждению капустной молью. Хозяйственная эффективность защитных мероприятий была больше (в 1.8 и 2.0 раза) в неудобренном варианте в

посевах озимой ржи (в 1.8 раза) и ярового ячменя (в 2.0 раза), где сильнее проявлялась вредоносность снежной плесени, корневых гнилей и гельминтоспориозных пятнистостей, в посеве ярового рапса (в 10.2 раза) – при массовом размножении капустной моли. Обратная ситуация отмечена в посевах ярового рапса (в 4.5 раза) в годы сильного поражения растений альтернариозом и картофеля (в 2.2 раза) при эпифитотийном развитии фитофтороза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ладонин В.Ф., Алиев А.М., Валькова В.А.* Агрэкологические аспекты комплексного применения средств химизации в севооборотах Российского Нечерноземья. Сообщение 1. Эффективность комплекса средств химизации в полеводческом севообороте // *Агрохимия*. 1992. № 9. С. 45–52.
2. *Ладонин В.Ф.* Эффективность и перспективы комплексного применения удобрений, пестицидов и регуляторов роста растений в земледелии России // *Агрохимия*. 1997. № 1. С. 8–9.
3. *Прищепина И.А.* Влияние минеральных удобрений на эффективность пестицидов и ретардантов, применяемых на посевах зерновых колосовых культур // *Вестн. защиты раст.* 2000. № 1. С. 73–93.
4. *Алиев А.М., Самойлов Л.Н., Цимбалист Н.И.* Эффективность комплексного применения средств химизации в Нечерноземной зоне (итоги 55 лет исследований в длительном полеводческом опыте) // *Агрохимия*. 2016. № 2. С. 20–30.
5. *Стрижков Н.И., Пронько В.В., Корсаков К.В., Говряков А.С.* Эффективность совместного применения минеральных удобрений, гербицидов и регуляторов роста при возделывании овса на черноземах южных Саратовского правобережья // *Вестн. СаратовГАУ*. 2012. № 1. С. 61–63.
6. *Титова Е.М., Внукова М.А.* Эффективность комплексного применения удобрений и гербицида Димесол на посевах ярового ячменя // *Вестн. ОрелГАУ*. 2012. № 2. С. 32–35.
7. *Павлюшин В.А.* Научное обеспечение защиты растений и продовольственная безопасность России // *Защита и карантин раст.* 2010. № 2. С. 11–15.
8. *Павлюшин В.А.* Проблемы фитосанитарного оздоровления агроэкосистем // *Вестн. защиты раст.* 2011. № 2. С. 3–9.
9. *Хаирова Н.И.* Эффективность совместного применения азотных удобрений и химических средств защиты растений под ячмень на дерново-подзолистой суглинистой почве: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2014. 30 с.
10. *Шарков И.Н., Захаров Г.М., Крупская Т.Н.* Эффективность применения средств химизации под яровую пшеницу в лесостепи Западной Сибири // *Земледелие*. 2017. № 6. С. 16–18.
11. *Ториков В.Е., Мельникова О.В., Мамеев В.В., Осипов А.А.* Влияние уровня применения средств химизации на фитосанитарное состояние посевов и урожайность зерна озимой пшеницы в системе пло-

- сменного севооборота // Аграрн. вестн. Верхневолжья. 2019. № 2(27). С. 38–43.
12. Алиев А.М., Варламов В.А., Ваулина Г.И., Державин Л.М., Переведенцева С.В., Самойлов Л.Н., Сычев В.Г., Шаповал О.А., Яковлева Т.А. Комплексное применение агрохимических средств – основа высокой продуктивности и устойчивости земледелия // Плодородие. 2009. № 2(47). С. 5–8.
 13. Шпанев А.М., Фесенко М.А., Смук В.В. Эффективность комплексного применения средств химизации при возделывании ярового ячменя на Северо-Западе РФ // Агрохимия. 2019. № 12. С. 47–55.
 14. Кононова А.М. Продуктивность севооборота при комплексном применении средств химизации // Плодородие. 2010. № 4(55). С. 15–17.
 15. Кононова А.М., Державин Л.М., Самойлов Л.Н. Продуктивность севооборота и плодородие дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы при длительном применении агрохимических средств // Достиж. науки и техн. АПК. 2011. № 3. С. 9–11.
 16. Шпанев А.М., Денисюк Е.С., Смук В.В. Перспективы биологической защиты ярового ячменя и картофеля от болезней в Северо-Западном регионе РФ // Информ. бюл. ВПРС МОББ. 2017. № 52. С. 330–334.
 17. Шпанев А.М., Денисюк Е.С. Эффективность микробиологических препаратов на основе *Vaccillus subtilis* и *Trichoderma harzianum* в защите ярового ячменя от болезней на Северо-Западе России // Биотехнология. 2020. Т. 36. № 1. С. 61–72.
 18. Зубков А.Ф. Методические указания по сбору полевой биоценологической информации с целью оценки вредоносности комплекса вредных организмов. Л.: ВИЗР, 1978. 18 с.
 19. Шпанев А.М., Голубев С.В. Агробиоценоз яровых зерновых культур (юго-восток ЦЧЗ). СПб., 2010. 128 с.
 20. Гончаров Н.Р. Методика экономической оценки эффективности мероприятий по защите растений в условиях производственного эксперимента. СПб., 2017. 26 с.
 21. Шпанев А.М., Фесенко М.А. Влияние предпосевного внесения полного минерального удобрения на фитосанитарное состояние посевов озимой ржи на Северо-Западе России // Вестн. защиты раст. 2019. № 3. С. 34–40.
 22. Шпанев А.М. Фитосанитарное состояние посевов озимой ржи на агроэкологическом стационаре Меньковского филиала Агрофизического научно-исследовательского института // Вестн. защиты раст. 2018. № 3(97). С. 67–72.
 23. Шпанев А.М., Смук В.В. Эпифитотии развития фитофтороза на картофеле в Северо-Западном регионе // Совр. микология в России. Т. 7. М., 2017. С. 113–114.
 24. Шпанев А.М. Массовое размножение капустной моли // Защита и карантин раст. 2015. № 9. С. 43–45.
 25. Рогожников Е.С., Шпанев А.М., Фесенко М.А. Влияние удобрений на поражение ярового ячменя болезнями в IV агроклиматической зоне Ленинградской области // Вестн. защиты раст. 2016. № 4(90). С. 56–61.

Efficiency of Application of Mineral Fertilizers and Integrated Plant Protection System in Field Crop Rotation in the North-West of the Russian Federation

A. M. Shpanev^{a,b,#}, M. A. Fesenko^a, and V. V. Smuk^{a,b}

^aAgrophysical Research Institute
Grazhdanskiy prosp. 14, Saint-Petersburg 195220, Russia

^bAll-Russian Institute of Plant Protection
shosse Podbel'skogo 3, Saint-Petersburg 196608, Russia

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

The results of the long term research showed that the combined usage of the mineral fertilizers and integrated plant protection systems allowed for the highest crop harvest and productivity on fields in the North-West Russia. The lowest increase of harvest resulted from both chemical factors was reported for winter rye (30.2 c/ha – 90%), the highest increase was reported for barley (24.6 c/ha – 138%), the intermediate results showed potato (177.4 c/ha – 117%) and spring rape (13.1 c/ha – 127%). The most important input to the harvest productivity of spring barley (17.9 c/ha – 100%) and winter rye (24.7 c/ha – 76%) was due to the application of mineral fertilizers, and the most important input to the harvest productivity for the spring raps (10.4 c/ha – 90%) and potato (110 c/ha – 58%) was due to the integrated system of plant protection. The effect of the interaction from the combined usage of the fertilizers and pesticides was low (3.6–16.5%) and unstable for all the crops. The productivity increase of the field during the improvement of the crops nutritional regime and phytosanitary state reached 16.2–22.7 centner grain units/ha (50.9–71.4%).

Key words: crop rotation, mineral fertilizers, integrated plant protection system, phytosanitary condition, complex influence of chemicals.